



NNT : 2012 EMSE 0649

THÈSE

présentée par

Jonathan VILLOT

pour obtenir le grade de

Docteur de l'École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne

Spécialité : Sciences et Génie de l'Environnement

Bâtiments et Facteur 4 : de l'émergence d'un objectif global à son application au niveau local.

Analyse des problématiques de rénovation dans le secteur résidentiel à caractère social.

soutenue à Saint-Etienne, le 26 mars 2012

Membres du jury

Président	Jean-Yves TOUSSAINT	Professeur, INSA, Lyon
Rapporteurs :	Françoise THELLIER Etienne WURTZ	Professeur, Université Paul Sabatier, Toulouse Dir. de recherche, CEA-INES, Le Bourget du Lac
Examineurs :	Yamina SAHEB Julien HANS	Docteur, IEA, Paris Docteur, CSTB, Saint Martin d'Hères
Directeurs de thèse :	Valérie LAFOREST Natacha GONDRAN	Maître de recherche, ENSM, Saint-Etienne Maître assistant, ENSM, Saint-Etienne
Invité :	Robert KECHECHIAN	Resp. Service Patrimoine Cité Nouvelle, Saint-Etienne

Spécialités doctorales :

SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX
 MECANIQUE ET INGENIERIE
 GENIE DES PROCEDES
 SCIENCES DE LA TERRE
 SCIENCES ET GENIE DE L'ENVIRONNEMENT
 MATHEMATIQUES APPLIQUEES
 INFORMATIQUE
 IMAGE, VISION, SIGNAL
 GENIE INDUSTRIEL
 MICROELECTRONIQUE

Responsables :

J. DRIVER Directeur de recherche – Centre SMS
 A. VAUTRIN Professeur – Centre SMS
 F. GRUY Professeur – Centre SPIN
 B. GUY Maître de recherche – Centre SPIN
 J. BOURGOIS Professeur – Fayol
 E. TOUBOUL Ingénieur – Fayol
 O. BOISSIER Professeur – Fayol
 JC. PINOLI Professeur – Centre CIS
 P. BURLAT Professeur – Fayol
 Ph. COLLOT Professeur – Centre CMP

Enseignants-chercheurs et chercheurs autorisés à diriger des thèses de doctorat (titulaires d'un doctorat d'État ou d'une HDR)

AVRIL	Stéphane	MA	Mécanique & Ingénierie	CIS
BATTON-HUBERT	Mireille	MA	Sciences & Génie de l'Environnement	Fayol
BENABEN	Patrick	PR 1	Sciences & Génie des Matériaux	CMP
BERNACHE-ASSOLLANT	Didier	PR 0	Génie des Procédés	CIS
BIGOT	Jean-Pierre	MR	Génie des Procédés	SPIN
BILAL	Essaïd	DR	Sciences de la Terre	SPIN
BOISSIER	Olivier	PR 1	Informatique	Fayol
BORBELY	Andras	MR	Sciences et Génie des Matériaux	SMS
BOUCHER	Xavier	MA	Génie Industriel	Fayol
BOUDAREL	Marie-Reine	PR 2	Génie Industriel	DF
BOURGOIS	Jacques	PR 0	Sciences & Génie de l'Environnement	Fayol
BRODHAG	Christian	DR	Sciences & Génie de l'Environnement	Fayol
BURLAT	Patrick	PR 2	Génie industriel	Fayol
COLLOT	Philippe	PR 1	Microélectronique	CMP
COURNIL	Michel	PR 0	Génie des Procédés	SPIN
DAUZERE-PERES	Stéphane	PR 1	Génie industriel	CMP
DARRIEULAT	Michel	IGM	Sciences & Génie des Matériaux	SMS
DECHOMETS	Roland	PR 1	Sciences & Génie de l'Environnement	Fayol
DESTRAYAUD	Christophe	MA	Mécanique & Ingénierie	SMS
DELAFOSE	David	PR 1	Sciences & Génie des Matériaux	SMS
DOLGUI	Alexandre	PR 1	Génie Industriel	Fayol
DRAPIER	Sylvain	PR 2	Mécanique & Ingénierie	SMS
DRIVER	Julian	DR 0	Sciences & Génie des Matériaux	SMS
FEILLET	Dominique	PR 2	Génie Industriel	CMP
FOREST	Bernard	PR 1	Sciences & Génie des Matériaux	CIS
FORMISYN	Pascal	PR 1	Sciences & Génie de l'Environnement	Fayol
FRACZKIEWICZ	Anna	DR	Sciences & Génie des Matériaux	SMS
GARCIA	Daniel	MR	Sciences de la terre	SPIN
GIRARDOT	Jean-Jacques	MR	Informatique	Fayol
GOEURLOT	Dominique	MR	Sciences & Génie des Matériaux	SMS
GRAILLOT	Didier	DR	Sciences & Génie de l'Environnement	Fayol
GROSSEAU	Philippe	MR	Génie des Procédés	SPIN
GRUY	Frédéric	MR	Génie des Procédés	SPIN
GUY	Bernard	MR	Sciences de la Terre	SPIN
GUYONNET	René	DR	Génie des Procédés	SPIN
HERRI	Jean-Michel	PR 2	Génie des Procédés	SPIN
INAL	Karim	PR 2	Microélectronique	CMP
KLÖCKER	Helmut	DR	Sciences & Génie des Matériaux	SMS
LAFOREST	Valérie	CR	Sciences & Génie de l'Environnement	Fayol
LERICHE	Rodolphe	CR CNRS	Mécanique et Ingénierie	SMS
LI	Jean-Michel	EC (CCI MP)	Microélectronique	CMP
MALLIARAS	George Grégory	PR 1	Microélectronique	CMP
MOLIMARD	Jérôme	MA	Mécanique et Ingénierie	SMS
MONTHEILLET	Frank	DR 1 CNRS	Sciences & Génie des Matériaux	SMS
PERIER-CAMBY	Laurent	PR 2	Génie des Procédés	SPIN
PIJOLAT	Christophe	PR 1	Génie des Procédés	SPIN
PIJOLAT	Michèle	PR 1	Génie des Procédés	SPIN
PINOLI	Jean-Charles	PR 0	Image, Vision, Signal	CIS
ROUSTANT	Olivier	MA	Mathématiques Appliquées	Fayol
STOLARZ	Jacques	CR	Sciences & Génie des Matériaux	SMS
SZAFNICKI	Konrad	MR	Sciences & Génie de l'Environnement	Fayol
THOMAS	Gérard	PR 0	Génie des Procédés	SPIN
TRIA	Assia		Microélectronique	CMP
VALDIVIESO	François	MA	Sciences & Génie des Matériaux	SMS
VIRICELLE	Jean-Paul	MR	Génie des procédés	SPIN
WOLSKI	Krzysztof	DR	Sciences & Génie des Matériaux	SMS
XIE	Xiaolan	PR 1	Génie industriel	CIS

Glossaire :

PR 0 Professeur classe exceptionnelle
 PR 1 Professeur 1^{ère} classe
 PR 2 Professeur 2^{ème} classe
 MA(MDC) Maître assistant
 DR Directeur de recherche
 Ing. Ingénieur
 MR(DR2) Maître de recherche
 CR Chargé de recherche
 EC Enseignant-chercheur
 IGM Ingénieur général des mines

Centres :

SMS Sciences des Matériaux et des Structures
 SPIN Sciences des Processus Industriels et Naturels
 Fayol Institut Henri Fayol
 CMP Centre de Microélectronique de Provence
 CIS Centre Ingénierie et Santé

*« Je ne cherche pas à connaître les réponses,
je cherche à comprendre les questions. »*

Confucius (-551/-479)

Remerciements

A l'heure des remerciements, la tâche est ardue. Ardue car le nombre de collègues, amis, et proches ayant ponctué et contribué de prêt ou de loin à la réussite de cette thèse est important. Ainsi, c'est en espérant n'oublier personne que j'ouvre cette page des remerciements.

En premier lieu, je tiens à remercier Didier Graillot, directeur de feu le centre SITE (Sciences, Information et Technologie pour l'Environnement) récemment fusionné au sein de l'institut Henri Fayol de l'ENSM-SE, pour m'avoir accueilli dans son équipe.

Je présente toute ma reconnaissance à Madame Françoise Thellier ainsi qu'à Monsieur Etienne Wurtz d'avoir accepté de juger en tant que rapporteur ce travail de thèse et d'avoir permis au travers de leurs commentaires et remarques d'accroître la qualité de ce dernier.

Mes remerciements vont également à Madame Yamina Saheb et Monsieur Julien Hans qui en leur qualité d'examineur ont contribué aux questionnements et débats le jour de la soutenance.

J'exprime ma profonde gratitude à Monsieur Jean-Yves Toussaint qui m'a fait l'honneur de présider le jury de thèse mais aussi de part sa vision connexe des problématiques du bâtiment développées au travers des sciences sociales

Tout ma reconnaissance va à Monsieur Robert Kechechian qui en tant que représentant de l'ESH Cité Nouvelle, m'a fait l'honneur de sa présence au sein du jury, mais aussi pour m'avoir permis au travers d'un partenariat riche, d'enrichir ma connaissance du secteur du bâtiment.

Je tiens tout particulièrement à remercier mes directrices de thèse, Valérie Laforest et Natacha Gondran qui m'ont donné l'opportunité de réaliser cette thèse et qui par leur soutien, leurs conseils, et leur bonne humeur m'ont guidé tout au long de ces trois années de thèse. Je les remercie de m'avoir fait confiance, ainsi que pour leur patience et ouverture d'esprit qu'elles ont su m'accorder.

Je remercie également l'ensemble des membres de l'ancien centre SITE, et donc aux nouvelles équipes regroupées au sein de PIESO et GSE, pour leur implication, leur bonne humeur, les débats et fou-rires. Une pensée particulière pour mes collègues du coin café (Hervé, Florence, Christiane, Frédéric, ...) et mes amis thésards (Gaël, Jordan, Eric, Valentine, ...) pour les moments de détente indoor et outdoor.

Un grand merci aussi aux nouveaux arrivants (Sophie, Carine, Sandrine, Mariana,...) pour leur gentillesse ainsi qu'à l'indispensable Zahia sans qui le troisième étage de l'espace Fauriel ne serait plus le même.

Merci à ma famille pour leur soutien continu, leur disponibilité et leurs encouragements tout au long de cette thèse.

Enfin, « last but not least », je tiens à remercier Laure de m'avoir accompagné dans mes péripéties de thésard. Une mention spéciale pour sa patience et son soutien durant les durs moments liés à la rédaction du manuscrit et pour les heures passées à la relecture de ce dernier. « Merci de m'avoir accompagné durant cette période et cette épreuve ».

Résumé

Deux fois plus de bien-être en consommant deux fois moins de ressources : visant à l'origine des objectifs d'efficience des modes de production, le concept de « facteur 4 » s'est peu à peu modifié au début du XXI^{ème} siècle pour se focaliser sur la division par 4 des émissions de gaz à effet de serre. De nos jours, le facteur 4 est un objectif fractal, faisant référence selon l'échelle étudiée à deux ensembles différents mais reliés : le facteur 4 climatique (à l'échelle nationale) et le facteur 4 énergétique (à l'échelle micro-économique). Le facteur 4 énergétique, transposition des questions climatiques (GES) aux aspects de maîtrise de l'énergie a largement été développé au sein d'un secteur économique : le bâtiment. Ce dernier, de par son gisement d'économies d'énergie, a fait l'objet d'un engouement important s'étant concrétisé par la mise en place de réglementations, labels et scénarios prospectifs dans le but d'orienter et de proposer des directions vers l'atteinte du facteur 4. Malgré tout, la transposition pratique d'objectifs théoriques se heurte à la complexité du système composant ce secteur. Cette complexité est due à la diversité du bâti mais aussi, et surtout, aux nombreux acteurs qu'il est nécessaire de mobiliser. L'enjeu de cette recherche est d'étudier le système complexe que représente le secteur du bâtiment et ses acteurs, face à l'atteinte du Facteur 4. Cette thèse propose notamment d'identifier les points de blocage, ainsi que les facteurs de succès lors d'opérations de rénovation et de construction ; objectif revenant à poser la question suivante : quels sont les freins et leviers d'action rencontrés par les acteurs pour l'atteinte du facteur 4 dans le bâtiment ? Pour ce faire, nous avons choisi d'étudier en détail le cas du département de la Loire et envisagé par la suite la transposition des enseignements tirés sur ce département à l'ensemble de la France. Une vingtaine d'entretiens couplés à un questionnaire semi-directif auprès de plus de 200 acteurs professionnels du bâtiment ont été réalisés. Ces enquêtes qualitatives et quantitatives ont permis d'identifier et classer 24 types de freins, relevant de problématiques financières, techniques, réglementaires et comportementales ainsi que les principaux leviers pouvant permettre de les contourner. Au travers des discours et résultats obtenus, les contraintes financières et comportementales apparaissent prépondérantes pour les acteurs interrogés. Malgré tout, l'enchevêtrement des freins et l'interrelation de ces derniers entre catégories imposent une conclusion : le système actuel, face aux contraintes du facteur 4, nécessite non pas une adaptation voire une évolution mais une refonte des modes de penser et de faire. Cette refonte, prônant les concepts de sobriété et d'efficacité, nécessite d'ordonner ces derniers : la sobriété de conception constitue alors une étape préalable à l'efficacité énergétique, elle-même précurseur de la sobriété d'utilisation. Une recherche-action menée sur 3 projets de rénovation sur le territoire de Saint-Etienne Métropole et couplant plus d'une centaine d'entretiens auprès de locataires de logement sociaux confirme cet agencement. Les utilisateurs, acteurs incontournables d'un projet, au travers d'une augmentation de leur niveau de confort

conditionnent la sobriété à l'amélioration des niveaux de performances du logement. Cette sobriété, testée au travers de simulations thermiques dynamiques sur trois variables d'utilisation (température, taux d'occupation, fermeture des volets) pouvant permettre une division par deux des consommations du bâti.

Mots clefs : Bâtiment, facteur 4, efficacité énergétique, sobriété, freins, leviers, acteurs professionnels, utilisateurs, logements sociaux.

Abstract

Doubling Wealth - Halving Resource Use: from the original goals of efficiency production methods, the concept of "factor 4" has gradually changed in the early twenty-first century to focus on the division by 4 of greenhouse gas emissions. Today, Factor 4 depending on the scale refers to two different but interrelated concepts: climate factor 4 (national scale) and the energy factor 4 (at the micro-economic scale). Energy factor 4, transposition of climate issues (GHG) to the aspects of energy management has largely been developed in one sector of economy: the building sector. This sector, through its pool of savings has demonstrated widespread enthusiasm and has realized the implementation of regulations, labels and scenarios to guide and suggest directions towards the factor 4. Nevertheless, the practical implementation of theoretical objectives is hampered by the complexity of this sector. This complexity is due to the diversity of buildings, but also and above all, to the variety of actors who need to be mobilized. The aim of this research is to study the complex system represented by the construction industry and its actors, faced with the objective of factor 4. This thesis proposes to identify bottlenecks and success factors in operations and construction renovation as so ask the question: what are the barriers and levers encountered by actors trying to achieve the factor 4 in the building sector? To do this, we chose to study in detail the case of the Loire department and then consider whether lessons learned on this department could be applied to all France. Twenty interviews coupled with a questionnaire completed by over 200 professional actors in the building sector have been done. These qualitative and quantitative surveys have identified and classified 24 types of barriers relating to financial, technical, regulatory and behavioural issues as well as key levers that can help to overcome them. Through analysis of results, behavioural and financial issues appear to be paramount for the interviewed actors. Still, the variety of barriers and their interrelationship requires one conclusion: the current system, constrained by the objective of factor 4 requires not an adaptation or an evolution but a redesign of modes of thinking and acting. This redesign, advocating the concepts of sufficiency and efficiency needs to be ordered: the sufficiency of design is a preliminary step to energy efficiency, itself a precursor to the sufficiency of use. Action research conducted on three renovation projects in the territory of Saint-Etienne and combining more than one hundred interviews with tenants of social housing company confirms this arrangement. Inhabitants, as key actors of a project, stipulate that an increase in their comfort level combined to an improvement of housing performance, as a condition to their sufficiency. This sufficiency tested through thermal dynamic simulations (temperature, occupancy, closing the shutters) could allow a halving of building consumption.

Keywords: Building, factor 4, energy efficiency, sufficiency, barriers, levers, professional actors, users, social housing.

Table des Matières

Introduction générale.	27
Chapitre 1. Facteur 4 : apparition et retranscription d'un concept devenu objectif. ...	31
1. Energie, la délicate question de la ressource.	33
1.1. Les sources et formes d'énergie.....	33
1.2. Les énergies : une consommation frénétique.....	35
1.2.1. Au niveau mondial.....	35
1.2.2. Au niveau du territoire français.....	37
1.3. Le pic de Hubbert ou la raréfaction des ressources.	40
1.3.1. La théorie de la décroissance des ressources fossiles	40
1.3.2. Des consommations décorrélées des zones de production.	42
2. Changements et dérèglements climatiques, héritage d'un mode de vie.	44
2.1. Des émissions de gaz à effet de serre... ..	44
2.1.1. Le PRG et la transposition en équivalent CO ₂	45
2.1.2. Les émissions de GES.....	47
2.2. ... aux conséquences variables mais redoutées.	48
3. Les sommets internationaux, de la création de valeurs à la formalisation du facteur 4. ..	50
3.1. De la prise de conscience internationale vers l'émergence du facteur 4.	50
3.2. Le facteur 4, transposition nationale d'un objectif mondial.	51
3.2.1. L'apparition d'un concept dans la littérature.....	51
3.2.2. La transposition aux questions climatiques	53
3.3. L'apparition de l'objectif dans les politiques françaises.	55
3.4. L'application du facteur 4 climatique aux bâtiments	57
3.4.1. Pourquoi le bâtiment ?	57
3.4.2. Le bâtiment et le facteur 4 énergétique.....	60
4. Facteur 4 énergétique VS climatique.....	64
Conclusion : Le facteur 4 entre question climatique et énergétique.	67
Chapitre 2. Des objectifs ambitieux face à la complexité d'un système multi-acteurs.	69
1. Comment réduire les impacts du secteur du bâtiment ?	71
1.1. Ce que nous dit "l'équation maître" : I=PAT	71
1.2. Ce que nous enseignent les scénarios facteur 4.	73
1.2.1. Les scénarios de la MIES.....	73
1.2.2. Le scénario négaWatt.	74
1.2.3. Le scénario du clip	77
2. Les outils vers le facteur 4 dans le bâtiment.	79

2.1. Les labels du bâtiment.	80
2.2. Les outils réglementaires français.	84
2.2.1. La réglementation thermique dans les bâtiments neufs : la RT 2005	85
2.2.2. La réglementation thermique dans les bâtiments existants.	87
2.3. Les solutions techniques.	89
2.3.1. Les solutions techniques d'application de la RT 2005.	89
2.3.2. La Solution Technique de Référence.	94
3. Les points clefs à prendre en compte	97
4. Le bâti résidentiel, un secteur complexe et inégalitaire.	100
4.1. Le bâtiment et la notion de système complexe.	100
4.2. Les logements existants et leurs occupants, des éléments du système.	103
4.2.1. Des caractéristiques propres à chaque logement.	103
4.2.2. Des habitants et des modes d' « habiter » différents.	106
4.3. Des performances hétérogènes.	109
4.4. Des conséquences prévisibles sur la facture des ménages.	114
5. Des acteurs multiples aux diverses rationalités.	117
5.1. Quels acteurs dans le bâtiment ?	117
5.1.1. La maîtrise d'ouvrage	117
5.1.2. La maîtrise d'œuvre.	119
5.1.3. Les phases du projet de rénovation	121
5.2. Des décisions, des rationalités et des paradigmes différents.	124
5.2.1. La prise de décision	124
5.2.2. Les rationalités	126
5.2.3. Les paradigmes	127
Conclusion : Le facteur 4 et le bâtiment, des chemins variables et conditionnés.	129
Chapitre 3. Les freins et leviers au facteur 4. Retranscription et analyse thématique des discours d'acteurs du bâtiment.	131
1. Saint-Etienne Métropole : spécificités et enjeux.	133
2. Démarche d'investigation.	140
2.1. Enquête qualitative auprès des acteurs professionnels du bâtiment.	141
2.2. Analyse et suivi du forum participatif, un complément aux entretiens.	146
2.3. Questionnaires par internet, une analyse « quantitative » des freins et leviers à « la performance » des bâtiments.	149
2.4. La démarche d'investigation en quelques mots.	155
3. Résultats d'analyse	157
3.1. Un système multi-facettes.	157
3.2. Les freins à l'atteinte du facteur 4 dans le bâtiment.	164

3.3. Les leviers, des dispositions pouvant conduire au facteur 4.....	190
Conclusion : Le bâtiment et le facteur 4, entre freins et leviers.	214
Chapitre 4. Les usagers, des acteurs incontournables. Etude de cas approfondie en recherche action au sein d'une entreprise sociale pour l'habitat.	217
1. Méthodologie générale.....	219
2. Choix et description des sites d'études.....	221
2.1. La tour du Meygal.	222
2.2. Le lotissement de Firminy : Les Echos et les Suzannes.	223
3. Résultats des enquêtes : Caractéristiques de la population et perception du bâti et des travaux.	224
3.1. Occupation des logements et caractéristiques de la population : descriptif de l'échantillon.....	225
3.2. Données relatives au confort et au système de chauffage.	226
3.3. La perception du bâti et des travaux et les efforts consentis par les locataires.....	228
3.4. Les résultats des enquêtes, récapitulatif des éléments essentiels.	230
4. Les mesures in-situ : Caractéristiques et conditions de pose des capteurs.	231
4.1. Le Meygal : mesures in-situ.	234
4.2. Les Echos : mesures in-situ.	239
4.3. Les Suzannes : mesures in-situ.....	242
4.4. Les mesures in-situ en quelques mots.....	244
5. Etudes par simulations thermiques dynamiques.	245
5.1. Sélection de l'environnement de simulation.	246
5.2. Estimation des consommations du bâti et du confort ressenti.	247
6. Enquêtes, mesures et simulations : mutualisation des données.....	252
7. L'influence des comportements : Quelles conséquences sur la performance du bâti.....	254
7.1. La température intérieure.....	255
7.2. L'occupation des logements.	257
7.3. L'occultation des ouvrants vitrés.	259
7.4. Le scénario optimal Vs scénario dégradé.....	260
Conclusion : Usagers et performances	263
Conclusion générale et perspectives.....	265
Références Bibliographiques.	279
Annexes.....	291
Annexe 1 : Liste des entretiens et profil.....	292
Annexe 2 : Guide d'entretien pour les acteurs du bâtiment	294
Annexe 3 : Questionnaire fermé pour les acteurs du bâtiment.....	297

Annexe 4 : Données des analyses par tableaux croisés	306
Annexe 5 : Données de l'Analyse des Correspondances Multiples : Les professionnels du bâtiment	311
Annexe 6 : Perception des acteurs du bâtiment par les répondants à la question 7 du questionnaire.	314
Annexe 7 : Questionnaire à l'attention des locataires du « Meygal »	315
Annexe 8 : La tour du Meygal : Caractéristiques techniques	321
Annexe 9 : Les Echos et les Suzannes : caractéristiques techniques.....	324
Annexe 10 : Caractéristiques techniques des appareils utilisés lors des campagnes de mesures.	327
Annexe 11: Hypothèses de simulation thermique dynamique.....	329
Annexe 12 _a : Tour du Meygal, état initial.	334
Annexe 12 _b : Tour du Meygal, état rénové.	335
Annexe 13 _a : Bâtiment des Echos R+2 état initial.	336
Annexe 13 _b : Bâtiment des Echos R+2, état rénové.	337
Annexe 14 _a : Bâtiment des Echos R+3, état initial.	338
Annexe 14 _b : Bâtiment des Echos R+3, état rénové.	339
Annexe 15 _a : Bâtiment des Echos R+3, état initial	340
Annexe 15 _b : Bâtiment des Suzannes, état rénové.	341
Annexe 16 : Représentation graphique du confort au travers du diagramme de Brager.....	342
Annexe 17 : Données de l'Analyse des Correspondances Multiples : Les utilisateurs du bâtiment...344	
Annexe 18 : Modulation possible des logements du Meygal pour une re-densification de l'habitat	345
Annexe 19 : Modulation possible des logements des Echos pour une re-densification de l'habitat.	346

Liste des figures :

Figure 1 : Plan et démarche de la thèse.....	30
Figure 2 : Consommation mondiale d'énergie finale (millions de tep) par type d'énergie. [IEA, 2010]	36
Figure 3 : Répartition et évolution des consommations mondiales d'énergie par source [IEA, 2010].	36
Figure 4 : Consommation Française d'énergie primaire par type d'énergie [CGDD, 2010].	37
Figure 5 : Production française d'énergie primaire [CGDD, 2010]	38
Figure 6 : Production réelle des Etats-Unis et prédiction faite par Hubbert en 1956 [VERBRUGGEN et al, 2010].	40
Figure 7 : Classification des ressources. [SPE, 2007].....	41
Figure 8 : Consommation moyenne de pétrole (tep) par habitant en 2008. [BP, 2009].....	43
Figure 9 : Echanges internationaux des ressources en pétrole (MT) en 2008. [BP, 2009].....	43
Figure 10 : Représentation des concentrations troposphérique en CO ₂ le 20 mars 2009	46
Figure 11 : Répartition régionale des émissions de GES par habitant selon la population des différents groupes de pays en 2004. [GIEC, 2007]	47
Figure 12 : Réchauffement en 2090-2099 par rapport à 1980-1999 pour les scénarii SRES [GIEC, 2007]	48
Figure 13 : Exemples d'incidences associées à la variation de la température moyenne à la surface du globe [GIEC, 2007].	49
Figure 14 : Le facteur 4 en 1997 et ses répercussions directes. [VILLOT et al, 2010]	52
Figure 15 : Le facteur 4 climatique au début des années 2000 et ses répercussions directes [VILLOT et al, 2010].....	54
Figure 16 : Le facteur 4 climatique en 2009 et ses répercussions directes.....	56
Figure 17 : Emissions de GES en France par secteur d'activité [CITEPA, 2010].	58
Figure 18 : Potentiel économique d'atténuation mondial en 2030 selon les études ascendantes du GIEC. [GIEC, 2007].....	58
Figure 19 : Répartition des consommations du secteur résidentiel-tertiaire par type d'énergie. [MEEDDEM, 2007].....	60
Figure 20 : Le facteur 4 énergétique et ses possibles répercussions. [VILLOT et al, 2010]	62
Figure 21 : Chronologie des obligations imposées par le grenelle de l'environnement dans le bâtiment. [WAREMBOURG, 2010]	64
Figure 22 : Les trois étapes de la démarche négaWatt et l'équation IPAT (inspiré de [SALOMON et al, 2005a]).	75
Figure 23 : Emissions de CO ₂ par scénario [ASSOCIATION négaWatt, 2011].	76
Figure 24 : Echelle chronologique de création de quelques méthodes d'évaluation des bâtiments. [VILLOT et al, 2009].....	80
Figure 25 : Hiérarchisation des niveaux dans les labels du bâtiment.	81
Figure 26 : Réglementation thermique et évolutions successives [JAYR et al, 2011].	85
Figure 27: Conditions respectives d'application des réglementations thermiques pour les bâtiments existants [CSTB, 2011b].	87
Figure 28 : Dispositifs et ponts thermiques associés. Exemple des planchers hauts (les zones en jaunes représentent un isolant) [ST 2007-02, 2007]	91

Figure 29 : Représentation d'une branche de l'arbre de décision logique regroupant les principaux éléments ayant attiré à la consommation d'énergie de chauffage.	99
Figure 30 : Etiquette énergie du parc en 2008 (31, 4 Millions de logements) [MARCHAL et al, 2008]	110
Figure 31 : Etiquette énergie du parc en 2008 selon le type de logement [MARCHAL et al, 2008].....	111
Figure 32 : Répartition des consommations des logements selon la zone climatique (H1, H2, H3) [MARCHAL et al, 2008].....	112
Figure 33 : Part des énergies selon le type et l'ancienneté des logements [CGDD, 2011b].....	113
Figure 34 : Représentation en V du cycle de vie du bâtiment et interaction avec l'axe téléologique (inspiré de [OUMEZIANE, 2005]).	124
Figure 35 : Représentation schématique du lien entre acteur et rationalité	127
Figure 36 : Représentation du système bâtiment et de son évolution.	130
Figure 37 : Localisation géographique de la communauté urbaine de Saint-Etienne Métropole.....	133
Figure 38 : Répartition sectorielle des émissions de CO ₂ sur le territoire de SEM.....	135
Figure 39 : Répartition des logements collectifs et individuels sur le territoire de SEM (inspiré de [EPURES, 2011])	136
Figure 40 : Participation des secteurs d'activités à l'objectif général des -20% [KRAFT et al, 2010].....	139
Figure 41 : Principales étapes et méthodes d'investigation suivies	141
Figure 42 : Représentation des répondants par type d'acteurs.	156
Figure 43 : Voie de réception des enquêtes	157
Figure 44 : % des répondants ayant une connaissance de l'objectif du facteur 4.....	160
Figure 45 : Perception du facteur 4 et de la dynamique du système	162
Figure 46 : Objectif porté par la notion de facteur 4	163
Figure 47 : Adéquation entre objectifs théoriques et pratiques du terrain.....	165
Figure 48 : Perception de l'acceptation des problématiques énergétiques et environnementales dans le bâtiment	166
Figure 49 : Rythme de diffusion et d'appropriation d'une information [ZELEM et al, 2009].....	167
Figure 50 : Coordination des acteurs du bâtiment.....	170
Figure 51 : Exigences des réglementations thermiques.....	173
Figure 52 : Impacts des règles d'urbanisme sur la performance énergétique des bâtiments.....	177
Figure 53 : Représentation de la contrainte financière.....	180
Figure 54 : Impact de l'effet rebond sur les consommations d'énergie.....	184
Figure 55 : Cartographie et interrelation des freins à l'atteinte du facteur 4.	185
Figure 56 : Notation des catégories de freins	187
Figure 57 : Catégorisation des acteurs du bâtiment (Moteurs/Neutres/Freins).....	189
Figure 58 : AFCM regroupant la perception des acteurs et l'acceptation des objectifs énergétiques et environnementaux.....	189
Figure 59 : Rôle des scénarios prospectifs.	191
Figure 60 : Impact de la sensibilisation.....	192
Figure 61 : Perception de la consigne de 19°C.....	197
Figure 62 : Subjectivité des matériaux selon leur effusivité thermique.	199
Figure 63 : Ordonnancement de l'efficacité et de la sobriété dans le bâtiment.....	201
Figure 64 : Perception des aides financières.....	207

Figure 65 : Répartition souhaitée des aides.....	207
Figure 66 : Nécessité d'une obligation de rénovation et d'une sanction en cas d'écart.....	213
Figure 67 : Démarche de recherche-action en trois étapes.	221
Figure 68 : Bâtiment du Meygal.	222
Figure 69 : Principe de fonctionnement du chauffage collectif chronoproportionnel.	222
Figure 70 : Les Echos et les Suzannes.....	224
Figure 71: Ancienneté dans le logement.....	225
Figure 72: Tranches d'âge des locataires.....	225
Figure 73: Nombre de personnes vivant (gauche) ou ayant vécu dans les logements (droite).	226
Figure 74: Impression de confort dans les logements.....	226
Figure 75 : Efficacité du système de chauffage.....	227
Figure 76: Coût de l'utilisation du chauffage.....	227
Figure 77: Températures idéales dans les logements le jour (gauche) et la nuit (droite).....	228
Figure 78: Consignes du thermostat selon les locataires, de jour (gauche) et de nuit (droite).....	228
Figure 79 : Qualité thermique du bâti selon les locataires	228
Figure 80 : Nécessité des travaux de rénovation	228
Figure 81: Vocation des rénovations.....	229
Figure 82: Eléments à réhabiliter en priorité	229
Figure 83: Diminution de la température dans les logements avant rénovation (gauche) et après (droite)....	230
Figure 84: Répercussion de l'investissement sur le loyer.....	230
Figure 85 : Emplacement des capteurs de température et d'humidité dans les logements du Meygal (en haut), des Echos R+2 (en bas à gauche) et des Suzannes (en bas à droite).....	232
Figure 86 : Température opérative idéale en fonction de l'habillement et du métabolisme [ROULET, 2008]....	233
Figure 87 : Ecart et moyenne des températures entre le logement le plus froid et le plus chaud au Meygal. .	236
Figure 88 : Ecart et moyenne des températures entre le logement le plus froid et le plus chaud aux Echos. .	240
Figure 89 : Ecart et moyenne des températures entre le logement le plus froid et le plus chaud aux Suzannes.	243
Figure 90 : Données des campagnes de mesures dans les trois sites étudiés.....	245
Figure 91 : Estimation des consommations de chauffage (gauche) et du confort (droite).	248
Figure 92 : Température intérieure en fonction de la température extérieure (logement au premier étage). .	251
Figure 93 : Estimation du taux de confort incluant les appoints de chauffage au Meygal.....	251
Figure 94 : AFCM regroupant les données des questionnaires et les données des mesures.....	252
Figure 95 : Cycle de rétroaction : entre performance, efforts consentis, comportements et modes d'habiter. .	254
Figure 96 : Estimation des consommations d'énergie primaire pour le chauffage avant et après rénovations.	255
Figure 97 : Variation des consommations en énergie primaire pour le poste de chauffage avant et après rénovation en fonction du comportement des utilisateurs.....	262
Figure 98 : Démarche de thèse et perspectives envisagées.....	277
Figure 99: Représentation schématique d'un niveau de la tour du Meygal.....	322
Figure 100 : Masques proches et lointains influençant les apports solaires sur le site du Meygal.	323
Figure 101 : Masques proches et lointains influençant les apports solaires sur le site des Suzannes (à gauche) et des Echos (à droite).....	326

<i>Figure 102: Emplacement géographique des sites d'études et de la station météorologique de référence.....</i>	<i>329</i>
<i>Figure 103 : Températures moyennes mensuelles reconstruites pour l'année 2009 (Station synoptique d'Andrézieux-Bouthéon).....</i>	<i>330</i>
<i>Figure 104 : Représentation graphique des zones thermiques. Exemple des logements des Echos R+2 (à gauche) et R+3 (à droite)</i>	<i>333</i>
<i>Figure 105 : Diagramme de Brager : Echos R+2</i>	<i>342</i>
<i>Figure 106 : Diagramme de Brager : Echos R+3</i>	<i>342</i>
<i>Figure 107 : Diagramme de Brager : Meygal avec appoint (T=22°C)</i>	<i>342</i>
<i>Figure 108 : Diagramme de Brager : Meygal sans appoint (T=20°C).....</i>	<i>343</i>
<i>Figure 109 : Diagramme de Brager : Suzannes.....</i>	<i>343</i>

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Facteur de conversion entre les différentes unités de comptage de l'énergie.	34
Tableau 2 : Evolutions simultanées des consommations d'énergies primaire et finale en France entre 1973 et 2009 [CGDD, 2010].	38
Tableau 3 : Evolution de la consommation française d'énergie finale par secteur.	39
Tableau 4 : PRG et durée de vie des 6 GES concernés par le protocole de Kyoto. [IPCC, 2007].	45
Tableau 5 : Nombre de logements sociaux à rénover.	63
Tableau 6 : Enseignements communs issus des études prospectives.	78
Tableau 7 : Critères et thèmes généralement présents dans les labels environnementaux.	82
Tableau 8 : Consommations et usages concernés pour 3 labels énergétiques (inspiré de www.alterre-bourgogne.fr).	83
Tableau 9 : Garde fou au niveau des exigences des parois dans la RT 2005.	86
Tableau 10 : Exigence requise par la RT élément par élément pour 3 éléments.	88
Tableau 11 : Résistances thermiques et matériaux applicables par la ST 2007-02 et la RT pour l'existant [ST 2007-02, 2007].	91
Tableau 12 : Exemple de configuration répondant aux exigences de l'article 9 de l'arrêté du 3 mai 2007 pour les fenêtres.	92
Tableau 13 : Dispositif proposé pour le système de ventilation et points correspondants. [ST 2007-02, 2007].	93
Tableau 14 : Equivalence entre le Q4 et n50 selon le type de logement.	96
Tableau 15 : Fonctions d'usage du bâtiment. [GOBIN, 2003].	102
Tableau 16 : Définition du système bâtiment.	103
Tableau 17 : Les logements en France, segmentation et évolution [CGDD, 2011a].	105
Tableau 18 : Résidences principales en France par type de logement et époque d'achèvement de la construction [INSEE, 2011].	106
Tableau 19 : Evolution de la superficie et du nombre moyen d'habitants des résidences principales entre 1978 et 2006 [INSEE, 2011].	107
Tableau 20 : Résidence principale par type de logements et âge de la personne de référence [INSEE, 2011].	108
Tableau 21 : Moyennes des consommations unitaires d'énergie primaire par tranche d'âge du bâti en 2008 [MARCHAL et al, 2008].	110
Tableau 22 : Proportion de logements par zone climatique [TRAISNEL et al, 2010].	111
Tableau 23 : Rendement moyen de génération des systèmes de chauffage par type d'énergie et date d'installation [TRIBU ENERGIE, 2006].	113
Tableau 24 : Consommation moyenne d'énergie primaire par type de logements et source d'énergie. [MARCHAL et al, 2008].	114
Tableau 25 : Taux d'effort énergétique des ménages selon le type de chauffage et le milieu d'habitation. [MERCERON et al, 2010].	115
Tableau 26 : Taux d'effort énergétique selon le nombre d'actif et le quintile de niveau de vie. [MERCERON et al, 2010].	115
Tableau 27 : Part des ménages en situation de précarité énergétique [DEVALIERE et al, 2011].	116
Tableau 28 : Phases de décisions et acteurs concernés.	125
Tableau 29 : Saint-Etienne Métropole en quelques chiffres [SEM, 2011].	133

Tableau 30 : Illustration du discours d'acteur et codage de la source	148
Tableau 31 : Exemple d'atténuation de l'effet d'imposition.....	150
Tableau 32 : Exemple de filtres intermédiaires dans une question.	150
Tableau 33 : Objectifs, avantages et inconvénients des méthodes.....	155
Tableau 34 : Objectifs théoriques et réalités pratiques : Limites et entraves au facteur 4.	167
Tableau 35 : Savoir ne suffit pas ! : Limites et entraves au facteur 4.....	169
Tableau 36 : Dialogue et coordination : limites et entraves au facteur 4.	171
Tableau 37 : La réglementation thermique : limites et entraves au facteur 4	175
Tableau 38 : Les règles d'urbanismes : limites et entraves au facteur 4	178
Tableau 39 : la question financière : limites et entraves au facteur 4.....	182
Tableau 40 : Limites et entraves au facteur 4	184
Tableau 41 : Classement des catégories de freins.....	186
Tableau 42 : Représentations des freins par groupe d'acteurs.	187
Tableau 43 : Sensibiliser les acteurs : récapitulatif.....	194
Tableau 44 : Les étapes de la sobriété : récapitulatif.	200
Tableau 45 : la formation des acteurs : récapitulatif.	203
Tableau 46 : L'approche en coût global : récapitulatif.....	205
Enfin, il apparaît nécessaire d'augmenter l'écoconditionnalité des aides proposées. Encore trop souvent les aides ne servent qu'à atteindre les niveaux réglementaires et restent encore trop loin des exigences d'un bâtiment pouvant répondre aux objectifs du facteur 4. Si l'on prend l'exemple de l'écoprêt à taux zéro (EPTZ) pour la rénovation comparée aux exigences de la solution technique de référence développée par le cabinet Enertech, les écarts restent conséquents (Tableau 47). Tableau 47 : Comparaison des exigences techniques entre l'EPTZ et la STR	208
Tableau 48 : Leviers financiers : récapitulatif.....	210
Tableau 49 : Le levier réglementaire : récapitulatif.....	214
Tableau 50 : Possibles relations directes entre freins et leviers évoquées par les acteurs.....	215
Tableau 51 : Convergences et divergences entre sites étudiés	231
Tableau 52 : Moyenne des températures entre les mois de Janvier et Avril dans les logements du Meygal (Rdc : Rez-de-chaussée, O : Ouest, NE : Nord Est, SE : Sud Est, SO : Sud Ouest	235
Tableau 53 : Débit moyen de ventilation mesuré dans les logements du Meygal.	237
Tableau 54 : Humidité relative entre les mois de Janvier et Avril dans les logements du Meygal.	238
Tableau 55 : % du temps où l'humidité relative des logements du Meygal est inférieure ou supérieure aux valeurs conseillées.	238
Tableau 56 : Moyenne des températures entre les mois de Janvier et Avril dans les logements des Echos.	239
Tableau 57 : Débit moyen de ventilation mesuré dans les logements des Echos.....	241
Tableau 58 : Humidité relative entre les mois de Janvier et Avril dans les logements des ECHOS.	241
Tableau 59 : % du temps où l'humidité relative des logements des ECHOS est inférieure ou supérieure aux valeurs conseillées.	242
Tableau 60 : Moyenne des températures entre les mois de Janvier et Avril dans les logements des Suzannes.	242
Tableau 61 : Débit moyen de ventilation mesuré dans les logements des Suzannes.....	244
Tableau 62 : Humidité relative entre les mois de Janvier et Avril dans les logements des Suzannes.	244

Tableau 63 : % du temps où l'humidité relative des logements des Suzannes est inférieure ou supérieure aux valeurs conseillées.	244
Tableau 64 : Comparaison des résultats des simulations (AEG, THCE-ex, Pléiades).	249
Tableau 65 : Influence d'une augmentation de la température de consigne sur la consommation d'énergie primaire pour le poste de chauffage des bâtiments (état initial).	256
Tableau 66 : Influence d'une augmentation de la température de consigne sur la consommation d'énergie primaire pour le poste de chauffage des bâtiments (état rénové).	256
Tableau 67 : Influence d'une réduction du taux d'occupation des logements sur la consommation d'énergie primaire pour le poste de chauffage des bâtiments (état initial).	258
Tableau 68 : Influence d'une réduction du taux d'occupation des logements sur la consommation d'énergie primaire pour le poste de chauffage des bâtiments (état rénové).	258
Tableau 69 : Influence de l'occultation des ouvrants vitrés sur la consommation d'énergie primaire pour le poste de chauffage des bâtiments (état initial).	260
Tableau 70 : Influence de l'occultation des ouvrants vitrés sur la consommation d'énergie primaire pour le poste de chauffage des bâtiments (état rénové).	260
Tableau 71 : Possible surconsommation (%) imputable à une mauvaise gestion du bâti par les locataires ou gestionnaires (bâtiments : état initial).	261
Tableau 72 : Possible surconsommation (%) imputable à une mauvaise gestion du bâti par les locataires ou gestionnaires (bâtiments : état rénové).	262
Tableau 73 : Connaissance du concept de facteur 4 et localisation des acteurs.	306
Tableau 74 : Connaissance du concept de facteur 4 et mode de réception du questionnaire.	306
Tableau 75 : Acteurs et partages des problématiques.	307
Tableau 76 : Compétences et partage des problématiques.	307
Tableau 77 : Localisation et partage de la problématique.	308
Tableau 78 : Perception des niveaux de performance des RT dans le bâti existant et localisation des acteurs.	308
Tableau 79 : Perception de l'architecte selon la localisation des acteurs.	309
Tableau 80 : Perception des Bailleurs sociaux selon la localisation des acteurs.	309
Tableau 81 : Perception des établissements publics selon la localisation des acteurs.	310
Tableau 82 : Perception des fédérations du bâtiment selon la localisation des acteurs.	310
Tableau 83 : Les freins et les acteurs : AFCM.	311
Tableau 84 : Acteurs et visions du système et de l'acceptation des objectifs : AFCM.	312
Tableau 85 : Caractéristiques techniques des principaux composants du Meygal.	323
Tableau 86 : Caractéristiques techniques des principaux composants des logements de Firminy.	325
Tableau 87 : Scénario d'occupation annuel (100% = 0,02 occup/m ²)	330
Tableau 88 : Scénario de ventilation hivernal (100% = 0,6 vol/h au Meygal, 0,56 vol/h aux Echos et 1,37 vol/h aux Suzannes)	331
Tableau 89 : Scénario d'occultation hivernal.	331
Tableau 90 : Scénario de puissance dissipée en période hivernale.	332
Tableau 91 : Rendement des différents éléments du système de chauffage.	332

Liste des Sigles et Abréviations :

ABF	Architecte des bâtiments de France
ABS	Arbre des Buts et des Succès
ACV	Analyse du Cycle de Vie
ADEME	Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
AFCM	Analyse Factorielle des Correspondances Multiples
AEG	Audit Energétique Global
ALE	Agences Locales de l'Energie
AMO	Assistant à la Maîtrise d'Ouvrage
AMPASEL	Association de Mesure de la Pollution Atmosphérique de Saint-Etienne et du département de la Loire
AMVAP	Aire de Mise en Valeur de l'Architecture et du Patrimoine
ANRU	Agence Nationale de Rénovation Urbaine
APD	Avant Projet Définitif
APS	Avant Projet Sommaire
AQC	Agence Qualité Construction
BBC	Bâtiment Basse Consommation
Bbio	Besoin bioclimatique
BP	British Petroleum
BREEAM	Building Research Establishment's Environmental Assessment Method
CAPEB	Confédération de l'Artisanat et des Petites Entreprises du Bâtiment
CE	Communauté Européenne
Cep	Consommation d'énergie primaire
CETE	Centre d'Etude TEchnique
CGDD	Commissariat Général au Développement Durable
CIAD	Comité Interministériel de l'Aide au Développement
CITEPA	Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique
CLIP	Club d'ingénierie prospective et environnement
CMED	Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement
CNDB	Comité National pour le Développement du Bois
Cof _{ep}	Coefficient d'énergie primaire
COP	Coefficient de Performance
CPE	Contrat de Performance Energétique
CREDOC	Centre de Recherche pour l'Etude et l'Observation des Conditions de vie
CSPS	Coordonnateur Sécurité et Protection de la Santé
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
DCE	Dossier de Consultation des Entreprises
DPE	Diagnostic de Performance Energétique
ECS	Eau Chaude Sanitaire
EEA	European Environment Agency
EIE	Espace Info Energie
EPASE	Etablissement Public d'Aménagement de Saint-Etienne
EPTZ	Ecoprêt à Taux Zéro
ESH	Entreprise Sociale pour l'Habitat
FFB	Fédération Française du Bâtiment
GES	Gaz à Effet de Serre
GIEC	Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat
GJ	GigaJoule
HLM	Habitat à Loyer Modéré
HQE	Haute Qualité Environnementale
HR	Humidité Relative
HTML	HyperText Markup Language
IDPA	Identification Diagnostic Prospective, Amélioration

IEA	International Energy Agency
IEEA	Intelligent Energy Executive Agency
INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
kWh _{ef}	KiloWattheure d'énergie finale
kWh _{ep}	KiloWattheure d'énergie primaire
kWh _{eu}	KiloWattheure d'énergie utile
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
POPE	Programme fixant les Orientations de la Politique Energétique
PVC	Polychlorure de Vinyle
MECSL	Ministère de l'Emploi de la Cohésion Sociale et du Logement
MEDDTL	Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement
METL	Ministère de l'Équipement des Transport et du Logement
MIES	Mission Interministérielle sur l'Effet de Serre
MIQCP	Mission Interministérielle pour la Qualité des Constructions Publiques
MLLE	Mobilisation pour le Logement et la Lutte contre l'Exclusion
MO	Maître d'Ouvrage
Moe	Maîtrise d'œuvre
MOP	Maîtrise d'Ouvrage Publique
MWh	MégaWatheure
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Economiques
OE	Observatoire de l'Energie
ONU	Organisation internationale des Nations Unies
OPQIBI	Organisme Professionnel de Qualification de l'Ingénierie
OPC	Ordonnancement Pilotage Coordination
PCET	Plans Climats Energies Territoriaux
PCI	Pouvoir Calorifique Inférieur
PE	Performance d'Exploitation
PIB	Produit Intérieur Brut
ppm	partie par million
PPP	Partenariat Public Privé
PRG	Pouvoir de Réchauffement Global
PU	Performance d'Usage
RT	Réglementation Thermique
RUE	Ressources Ultimes Exploitable
SEM	Saint-Etienne Métropole
SHON	Surface Hors d'Œuvre Nette
SI	Système International
SPE	Society of Petroleum Engineers
SRES	Special Report on Emissions Scenarios
ST	Solution Technique
STR	Solution Technique de Référence
STU	Solution Technique Universelle
SYPA	Syndicat des Programmistes en Architecture et en Aménagement
TEE	Taux d'Effort Energétique
Tep	Tonne équivalente pétrole
TIC	Techniques de l'Information et de la Communication
TRE	Troisième Rapport d'Evaluation
TRNSYS	Transient System Simulation Tool
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
UNTEC	Union Nationale des Economistes de la Construction
USA	United States of America
VMC	Ventilation Mécanique Contrôlée
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
ZPPAUP	Zones de Protection du Patrimoine Architectural, Urbain et Paysager

Introduction générale.

« *R*etours d'expériences et proposition d'une méthodologie d'évaluation des projets de rénovation des bâtiments », tel fut initialement le sujet de cette thèse.

Force est de constater qu'après plus de trois ans, ce topique orienté science de l'ingénieur s'est amplement modifié. Abandonnant les affres d'une cause désireuse d'apporter une réponse à la définition d'un projet performant et devant le nombre important de méthodes, labels et outils d'évaluation, nous nous sommes intéressés aux objectifs même de cette dite performance. Des événements ayant conditionné les objectifs jusqu'à leur retranscription au bâtiment, la recherche menée s'est alors employée à questionner et à comprendre les enjeux et difficultés d'un secteur dont le gisement et les opportunités ont fini par le désigner comme une priorité.

Priorité, voilà un mot qui à lui seul retranscrit l'importance donnée actuellement au secteur du bâtiment. La déferlante d'études et de travaux provenant de l'ensemble des sciences qu'elles soient sociales, techniques ou économiques notamment depuis la promulgation des lois grenelle en 2008 vont dans le sens de ce constat. Pourquoi une telle importance ? Comme beaucoup de travaux actuels, l'impact des activités anthropiques et leurs conséquences sur les écosystèmes et la société humaine peuvent être invoqués. Pour autant, c'est en partie pour son gisement d'économie d'énergie et sa contribution aux objectifs du facteur 4 que l'engouement pour ce secteur peut être recherché. *Le facteur 4...* voici jeté de façon un peu brutale, l'un des termes qui ponctuera l'ensemble de ce manuscrit. En effet, c'est en abordant l'historique de ce concept que nous proposerons au lecteur de replacer l'importance du bâtiment et de ses objectifs de performance. Nous verrons notamment que d'un concept théorique axé sur l'efficacité des modes de production, le facteur 4 s'est peu à peu modifié afin d'épouser les problématiques actuelles liées au changement climatique (Chapitre 1). C'est donc en tant que division par 4 des émissions françaises de GES que ce concept, devenu objectif, sera abordé. En détaillant la transposition de ce dernier dans les politiques françaises et internationales nous verrons alors que, de tels engagements climatiques au niveau macro-économique ne sont obtenus que sous condition d'une application sectorielle, faisant alors du facteur 4 un objectif fractal. Réduire par quatre les consommations d'énergie telle est ainsi la traduction du facteur 4 au secteur du bâtiment. On peut alors interroger la pertinence mais aussi et surtout la complémentarité d'une application aux thématiques de l'énergie d'un objectif axé initialement sur les problématiques climatiques. Malgré tout, l'objectif n'en reste pas moins ambitieux car l'enjeu qu'il s'agit de développer dans le secteur du bâtiment est nouveau et sans précédent. Pour y parvenir, scénarii prospectifs, solutions

techniques, réglementations thermiques, certifications et labels sont développés et tentent d'apporter des solutions et d'encadrer les démarches actuelles et à venir. Pourtant, si les directions proposées par ces outils convergent, les actions préconisées ainsi que les chemins empruntés divergent. C'est alors un faisceau de trajectoires qui se dessine. Malgré tout, ces trajectoires restent théoriques et leur mise en place sur le terrain semble largement conditionnée par la complexité de ce secteur ainsi que par la multiplicité de ses acteurs (Chapitre 2).

La question centrale qui se pose alors est de savoir quelles sont ces conditions ou autrement dit les freins et les leviers pouvant interagir dans un sens comme dans l'autre sur l'atteinte des objectifs du facteur 4 dans le bâtiment.

Une telle question pourtant simple dans son énoncé, n'est pas sans poser quelques difficultés. En effet, le bâtiment en tant que système complexe regroupe un ensemble d'éléments hétérogènes interagissant entre eux dans le but d'atteindre les objectifs assignés. Ces éléments humains, matériels et immatériels ainsi que leurs interactions nécessitent alors un positionnement scientifique à l'intersection des sciences de l'ingénieur et des sciences sociales. Se lancer dans l'interdisciplinarité, car c'est bien ici notre démarche, peut alors pour certains être considéré *« comme de la transgression d'un territoire et/ou d'une frontière jalousement gardés. Celui qui s'aventure à traverser « clandestinement » ou qui tente de toucher à plus d'un domaine devient alors un objet de suspicion, un prétentieux polymorphe, ou un dilettant gênant qui cherche à imposer, dans un domaine qui lui est étranger, les méthodes de son réel savoir-faire à des sujets inadéquats dans un univers différent »* [GOULD, 2004]. Il ne s'agit pourtant pas ici de dissoudre les disciplines mais de proposer un jeu dialogique entre les savoirs [JOLIVET et al, 2002], de se nourrir de ces sciences afin d'utiliser et retenir dans chacune d'entre elles, les outils, approches, et connaissances mobilisables pour notre sujet et indispensables à la compréhension de ce dernier.

Ainsi, cette thèse se veut une approche interdisciplinaire au travers de l'analyse des interrelations entre éléments humains et matériels dans le domaine du bâtiment, conduisant à la recherche des dispositions favorisant ou entravant l'atteinte des objectifs du facteur 4 dans ce secteur. C'est en gardant en tête cela que nous nous intéresserons aux retours d'expériences d'une vingtaine d'acteurs ligériens du bâtiment qui, par leurs actions quotidiennes passées, présentes et à venir mettent en place les actions et solutions envisagées. Nous commencerons tout d'abord au travers d'entretiens et de l'analyse d'un forum participatif par caractériser la représentation du système par ces acteurs afin de délimiter leurs perceptions de ce dernier. Par la suite, une catégorisation des freins en 4 familles (réglementaires, comportementaux, techniques, financiers) sera réalisée et leur importance quantifiée au travers de données quantitatives issues de questionnaires internet destinés à un panel plus large composé de 200 acteurs professionnels

principalement rhônalpins. Nous nous demanderons notamment si certains acteurs en tant qu'élément du système ne constituent pas eux-mêmes un obstacle à l'action et c'est alors en interrogeant le panel de répondants aux questionnaires que nous proposerons une cartographie des intervenants d'un projet selon 3 pôles (Freins-Moteurs-Neutres). Ce cheminement nous amènera alors à évoquer les éventuelles solutions abordées, proposées ou espérées par le milieu du bâtiment en vue de lever les obstacles au facteur 4 (Chapitre 3). C'est notamment en abordant ces leviers épousant les familles de freins précédemment évoquées que nous relèverons alors l'importance relative accordée aux aspects financiers et comportementaux ainsi que la place occupée par un acteur non questionné durant cette première phase : l'utilisateur des lieux.

Les outils de l'ingénieur, regroupant simulations thermiques dynamiques, campagnes de mesures et données de terrain, seront alors mobilisés au travers d'une recherche action menée au sein d'une entreprise sociale pour l'habitat (Cité Nouvelle). 3 projets de rénovation situés sur le territoire de Saint-Etienne Métropole seront étudiés afin de percevoir l'impact de l'habitant sur les objectifs de performance d'un bâtiment. Nous étudierons notamment, par une enquête auprès d'une centaine de ménage, l'importance de la perception initiale du bâti, du système et des travaux sur l'acceptation de ces derniers et tenterons d'isoler les motivations et limites au développement de comportements plus sobres (Chapitre 4).

Au final, ce travail se présente comme une contribution à l'étude d'un secteur complexe, enchevêtrement de composantes techniques et humaines tentant de retranscrire, au niveau sectoriel, les objectifs climatiques et macro-économiques du facteur 4. Ainsi, si ce manuscrit peut dans certains cas apporter une compréhension réflexive et quelques réponses sur certains aspects spécifiques, il vise avant tout à présenter au travers de retranscription et d'expérimentation, une description permettant une appréhension par les professionnels comme par les néophytes des questions posées par ce secteur en pleine mutation.

Enfin, en tant que thématique nouvelle au sein du laboratoire PIESO (Performance Industrielle et Environnementales des Systèmes et des Organisations) de l'institut Henri Fayol, ces quelques pages, regroupées en quatre chapitres (Figure 1), constituent le premier travail appliqué spécifiquement au secteur du bâtiment. Par conséquent il tente d'apporter sans prétendre à l'exhaustivité les bases nécessaires pour le développement de pistes et sujets de recherche prospectifs à l'ENSM-SE¹ sur les questions énergétiques et climatiques appliquées à ce secteur.

¹ Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.

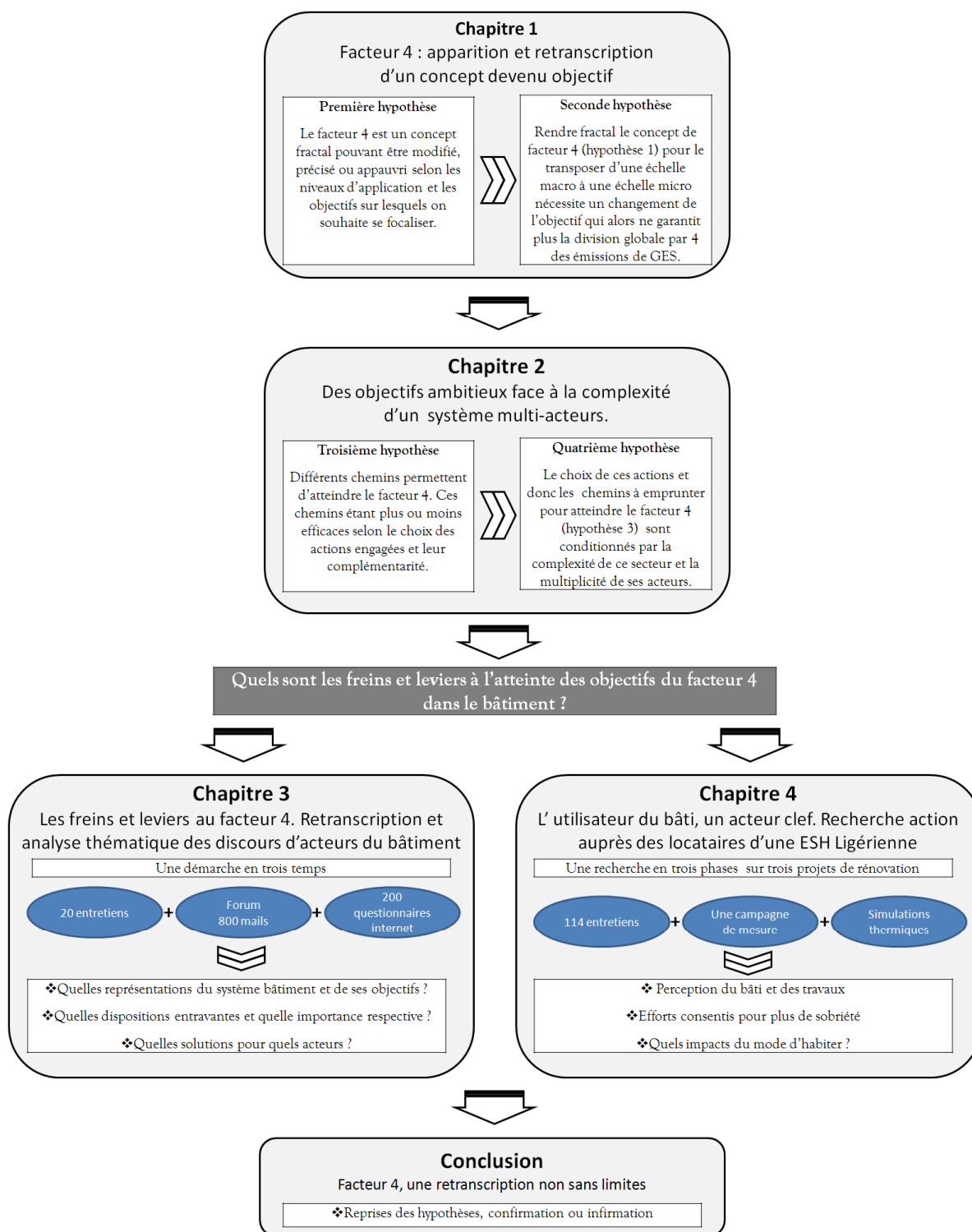


Figure 1 : Plan et démarche de la thèse

Chapitre 1.

Facteur 4 : apparition et retranscription d'un concept devenu objectif.

Le facteur 4 fait l'objet depuis quelques années d'un intérêt grandissant. A travers une littérature scientifique de plus en plus abondante, de textes réglementaires et engagements nationaux ou internationaux ainsi que par l'intermédiaire de revue grand public, l'idée de facteur 4 semble s'imposer. Concept théorique introduit il y a une quinzaine d'années [von WEIZACKER et al, 1997], il s'est modifié au fil des ans avant d'être porté au rang d'objectif de long terme à atteindre. Adopté ou tout du moins exprimé par de nombreux pays dans le cadre de la lutte contre le changement climatique, il fixe un objectif pour les actions engagées en faveur de sociétés sobres en carbone et en énergie.

L'atteinte du facteur 4 à un niveau macro-économique (global) passe par son application aux différents secteurs de l'économie (échelle micro-économique – locale, ex : le bâtiment). Par conséquent, des objectifs par grands secteurs émetteurs de gaz à effet de serre ont été élaborés. Cette élaboration a nécessité, pour certains secteurs, une transposition et une adaptation des objectifs globaux.

L'enjeu de ce premier chapitre est de retracer l'apparition du concept de facteur 4 ainsi que sa retranscription en tant qu'objectif à atteindre dans le cadre de la lutte contre le changement climatique. Nous commencerons par étudier les différents phénomènes et problématiques énergétiques et environnementaux qui ont contribué à faire émerger le concept de facteur 4. Par la suite, nous montrerons, et cela constituera notre première hypothèse, que le facteur 4 et notamment ses objectifs sont fractals selon les échelles d'application contribuant à créer au moins deux objectifs à part entière : le facteur 4 climatique et le facteur 4 énergétique. Suite à cela, nous essaierons de valider notre seconde hypothèse, selon laquelle les différents objectifs des facteurs 4 (climatiques et énergétiques), bien que inter-reliés, ne se garantissent pas mutuellement. Ainsi, en prenant l'exemple du secteur du bâtiment, nous insisterons sur le flou et les incertitudes liés aux objectifs du facteur 4 dit énergétique dans ce secteur. En approfondissant l'objectif et en se focalisant sur les simplifications et omissions que nous relèverons, nous tenterons de montrer les difficultés à retranscrire un objectif global à un niveau local.

Première hypothèse

Le facteur 4 est un concept fractal pouvant être modifié, précisé ou appauvri selon les niveaux d'application et les objectifs sur lesquels on souhaite se focaliser.



Seconde hypothèse

Rendre fractal le concept de facteur 4 (hypothèse 1) pour le transposer d'une échelle macro à une échelle micro nécessite un changement de l'objectif qui alors ne garantit plus la division par 4 des émissions de GES.

1. Energie, la délicate question de la ressource.

L'énergie est le moteur de la vie sur notre planète. Les ressources naturelles, qu'elles soient d'origine fossile, minérale, solaire, éolienne ou géothermale proviennent de notre environnement. Proches ou lointaines, accessibles ou difficilement exploitables, elles ont participé sous différentes formes et à différents degrés à l'évolution des sociétés humaines. Toutes les ressources utilisées ou utilisables sont nécessaires à la vie ; leur importance variant selon les besoins considérés comme « vitaux ». Cependant, si ces besoins ont pu être assouvis jusqu'à présent pour un certain nombre de sociétés humaines, leur dépendance toujours croissante accentuée par une surconsommation avérée expose ces sociétés à des conséquences. Conséquences qui, dans la majorité des cas s'avèreront négatives et se répercuteront sur les sphères économiques, sociales et environnementales.

1.1. Les sources et formes d'énergie.

Les bilans énergétiques, que ce soit au travers de la consommation ou de la production mondiale font se cumuler de nombreuses sources d'énergie. En première approximation deux grandes sources d'énergie accessibles sont identifiables : les énergies dites renouvelables et les énergies non renouvelables.

Les énergies renouvelables représentent les ressources, qui à l'échelle de temps des sociétés humaines, semblent pouvoir présenter un gisement quasi inépuisable sous réserve d'une bonne gestion de ces dernières (l'exemple le plus parlant concerne la biomasse : Une forêt correctement gérée peut permettre un approvisionnement en énergie continu à condition que le stock (accroissement – prélèvement) reste constant). Les énergies non renouvelables font référence aux ressources consommées qui ne peuvent se reconstituer [MULTON et al, 2011]. On y intègre généralement les énergies dites fossiles (Charbon, pétrole, gaz, ...) et les différents combustibles utilisés dans l'industrie du nucléaire (uranium, plutonium, ...). Ces sources d'énergie peuvent être utilisées sous leur forme initiale ou par l'intermédiaire de vecteurs (l'électricité issue des centrales thermiques fonctionnant avec une énergie fossile ou nucléaire constitue un vecteur et non une source d'énergie). Chacune de ces sources d'énergie est mesurable et quantifiable par l'intermédiaire d'unités de mesures. L'unité commune officielle est le Joule (J). « Un joule est une unité de mesure d'énergie (travail, quantité de chaleur, etc.) du système international (SI) équivalant au travail produit par une force de 1 Newton dont le point d'application se déplace de 1 mètre dans la direction de la force »². Du fait de la prédominance de certaines sources d'énergie et notamment du pétrole et de l'électricité, par convention et commodité, les bilans énergétiques

² Définition du Larousse : <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/joule/45028>

nationaux notamment issus de l'agence internationale de l'énergie, utilisent généralement la tonne équivalente pétrole (tep) ou le mégawattheure (MWh) (Tableau 1). Une tep correspond au pouvoir calorifique inférieur (PCI) d'une tonne de pétrole. Son contenu énergétique excluant la chaleur latente issue de la vaporisation de l'eau produite lors de la combustion correspond à 42 GJ.

Tableau 1 : Facteur de conversion entre les différentes unités de comptage de l'énergie.

	GJ	MWh	Tep
1 GJ =	1	0,28	0,024
1 MWh =	3,6	1	0,086
1 Tep =	42	11,63	1

Une retenue doit être de rigueur lors de l'utilisation de ces équivalences car de nombreuses variables issues des différents modes de transformation des ressources (variables physiques) ou encore certaines conventions (variables d'ajustements) peuvent les modifier. Ces variations d'unité ou de convention rendent souvent difficilement comparables certains bilans et transposition de données aux différentes échelles de consommation ou de production (niveau sectoriel → niveau national). A titre d'exemple, « pour l'électricité d'origine nucléaire, on comptabilise comme énergie primaire la chaleur produite par les réacteurs et utilisée pour produire de l'électricité, soit 0,26 Mtep par TWh produit. Pour l'électricité d'origine hydraulique, éolienne, solaire, produite sans cycle thermodynamique, on comptabilise comme énergie primaire l'équivalent thermique par effet joule de l'électricité produite, soit 0,086 Mtep par TWh. Pour l'électricité d'origine géothermique, le coefficient d'équivalence est 0,86 Mtep par TWh, soit dix fois plus » [LAPONCHE, 2009]. A ces difficultés s'ajoutent la comptabilisation sous deux formes d'énergie : l'énergie primaire et l'énergie finale qui se voient pour certains secteurs (notamment dans le bâtiment) être complétées par une troisième forme d'énergie : l'énergie utile [OE, 2009].

- **L'énergie primaire** « est la première forme de l'énergie directement disponible dans la nature : bois, charbon, gaz naturel, pétrole, vent, rayonnement solaire, énergie hydraulique, géothermique, ... L'énergie primaire n'est pas toujours directement utilisable et fait donc souvent l'objet de transformations : par exemple, raffinage du pétrole pour avoir de l'essence ou du gazole ; combustion du charbon pour produire de l'électricité dans une centrale thermique » [OE, 2009].
- **L'énergie finale** « est l'énergie livrée aux consommateurs (électricité, essence, gaz, gazole, fioul domestique, etc.) » [OE, 2009]. Le passage entre énergie finale et énergie primaire s'effectue par l'utilisation d'un coefficient variant selon le pays et la source d'énergie (ex :

en France, la réglementation thermique définit, un coefficient d'énergie primaire équivalent à 1 pour le bois, le gaz et le fioul alors que celui de l'électricité sera de 2,58³).

- **L'énergie utile** « est l'énergie dont dispose le consommateur, après transformation par ses équipements (chaudière, convecteurs électriques, ampoule électrique, etc.). La différence entre l'énergie finale et l'énergie utile tient essentiellement au rendement des appareils utilisés (chaudières, climatiseurs, ballon d'eau chaude sanitaire, ...) pour transformer cette énergie finale » [OE, 2009].

Ces trois types d'énergie sont reliés entre eux par l'Équation 1:

$$C_{ep} = C_{ef} \times Cof_{ep} \text{ ou } C_{ef} = C_{eu} \div R$$

C_{ep} : Consommation d'énergie primaire (kWh_{ep})

C_{eu} : Consommation d'énergie utile (kWh_{eu})

C_{ef} : Consommation d'énergie finale (kWh_{ef})

R : rendement du système (%)

Cof_{ep} : Coefficient énergie primaire

Équation 1 : De l'énergie utile à l'énergie primaire

L'étude des bilans énergétiques présente donc certaines difficultés. Cependant, les grandes variations de ces bilans depuis plusieurs décennies peuvent être analysées et font ressortir la frénésie des consommations d'énergie des sociétés modernes. Que cela soit à l'échelle mondiale ou nationale, les consommations des ressources naturelles ne cessent de croître, augmentant les difficultés d'approvisionnement mais aussi les tensions quant à leur exploitation.

1.2. Les énergies : une consommation frénétique.

1.2.1. Au niveau mondial.

En un peu plus de 150 ans, l'homme a consommé plus d'énergie que sur l'ensemble de son histoire. Les consommations ont connu une augmentation exponentielle atteignant leur paroxysme ces 30 dernières années. En effet, alors qu'au début des années 1970 l'humanité consommait l'équivalent de 4000 millions de tonnes équivalent pétrole, cette utilisation des ressources avait déjà plus que doublé en 2008 (8000 Mtep) [IEA, 2010]. Ainsi, l'équivalent de 93,000 milliards de kilowattheures ont été utilisés par l'ensemble des nations de la planète cette année-là. Trois sources non renouvelables sont depuis le début du XIX^e siècle, c'est-à-dire depuis la

³ Arrêté du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments.

révolution industrielle, les ressources les plus consommées par l'homme pour son développement : le gaz, le pétrole et le charbon (Figure 2).

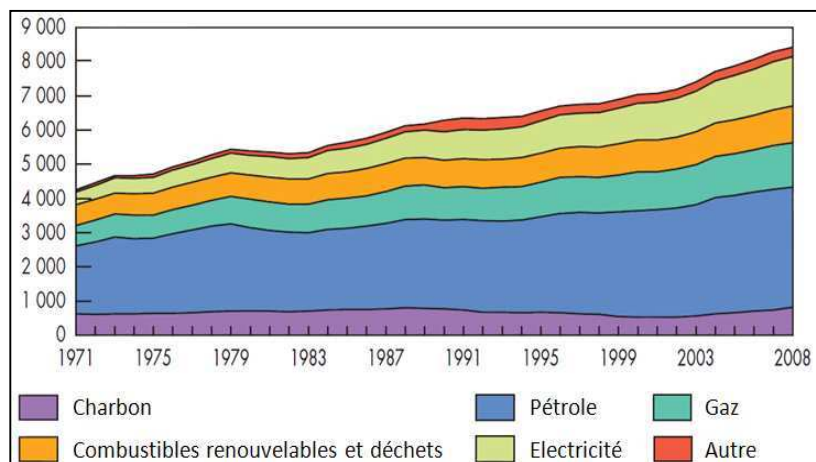


Figure 2 : Consommation mondiale d'énergie finale (millions de tep) par type d'énergie. [IEA, 2010]

Ces ressources, bien que de plus en plus difficilement exploitables représentaient 67% des consommations finales mondiales en 2008 et ce malgré la progression des nouvelles sources d'énergie alternatives ou renouvelables telles que l'éolien, le solaire ou encore le nucléaire. Le pétrole issu de la fossilisation de végétaux du carbonifère représente à lui seul 41,6% des ressources utilisées et ce malgré une diminution de son importance depuis 1973 (Figure 3).

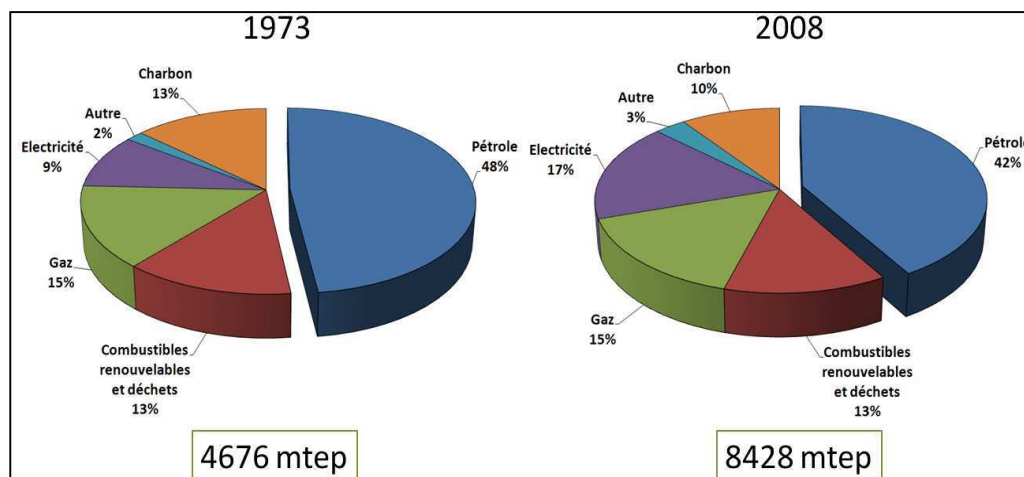


Figure 3 : Répartition et évolution des consommations mondiales d'énergie par source [IEA, 2010].

De fait, le gaz, les énergies renouvelables ainsi que l'électricité ont vu réciproquement leur part augmenter de 1,2%, 1,4% et 7,8% homogénéisant un peu plus la répartition des sources d'énergie ; la part de l'électricité étant notamment imputable au développement du nucléaire dans certains pays occidentaux.

1.2.2. Au niveau du territoire français

La France, de par son fort passé industriel, a suivi un schéma de consommation identique. Malgré une répartition par types d'énergies différente de la moyenne mondiale, sa consommation a progressé de 44% en un peu plus de 40 ans [CGDD, 2010] (Figure 4). Dans le même temps la consommation mondiale a augmenté de 80%.

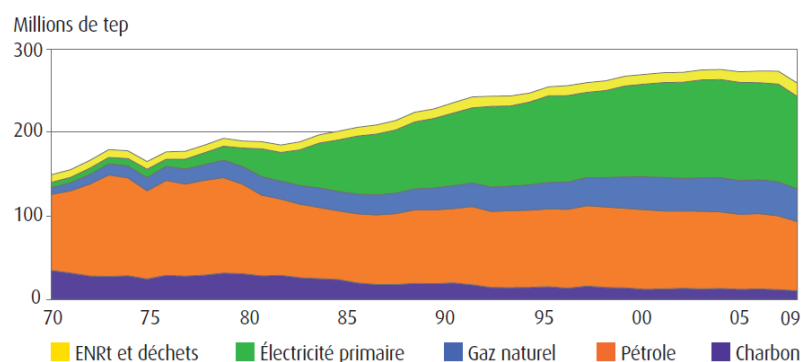


Figure 4 : Consommation Française d'énergie primaire par type d'énergie [CGDD, 2010].

La particularité de la consommation énergétique française vient de la prédominance importante de l'électricité primaire d'origine nucléaire dans le mix énergétique. Cette particularité a une origine historique. Dans les années 70, après avoir subi l'effet du premier choc pétrolier (1973-1974), la France met en place le programme nucléaire dans le but de réduire d'une part le coût de l'énergie et, d'autre part, d'assurer « l'indépendance » énergétique de l'hexagone (indépendance toutefois relative au vu de la quasi inexistance de ressources fissibles sur le territoire français). C'est cette source d'énergie qui a le plus augmenté ces 40 dernières années. De fait, au cours de la période 1970-2009, la structure des consommations d'énergie primaire a connu une importante évolution. La part du pétrole est passée de 68% à 32%, celle du charbon de 15% à 4% alors que dans le même temps la part du gaz était multipliée par 2 (7% à 15%), et celle de l'électricité par 10 (4% à 43%) [CGDD, 2010]. En effet, la surproduction d'électricité a dopé le marché de l'électricité notamment dans les bâtiments où le chauffage utilisant ce vecteur a connu un essor important [INSEE, 2008].

En raison de la part importante de l'électricité, il semble, à cette étape, nécessaire, de revenir sur certains aspects des équivalences évoquées précédemment et de leurs conséquences sur les bilans énergétiques français. Lorsque l'on observe les consommations métropolitaines à travers l'énergie finale et l'énergie primaire, leurs progressions bien qu'évoluant dans la même direction sont soumises à des écarts importants de leurs valeurs. Ainsi, alors que les consommations d'énergie primaire ont augmenté comme nous l'évoquions de 44% depuis 1973, la consommation d'énergie finale, elle, n'a connu une progression « que » de 16%. Cette différence provient,

notamment dans le cas du nucléaire, de l'utilisation de la méthode dite de « l'équivalent primaire » qui consiste à calculer « la quantité d'énergie fossile qui aurait été nécessaire, compte tenu du rendement de production de la filière considérée, pour obtenir la même quantité d'électricité. Pour le nucléaire et un rendement retenu de 33%, il faudrait 3 MWh de chaleur pour produire 1 MWh d'électricité, soit $3 \times 0,086 = 0,26 \text{ tep}$ » [DESSUS, 2002]. Cette méthode de calcul et les conventions qu'elle met en place peuvent fausser l'interprétation de la lecture des bilans énergétiques. De plus, elle révèle qu'en 40 ans l'évolution des technologies a certes permis d'augmenter les niveaux de production mais que cette élévation s'est faite au détriment du rendement global du système énergétique français. En effet, le rendement moyen a perdu 15 points entre 1973 et 2009 (consommation d'énergie finale/consommation d'énergie primaire) (Tableau 2).

Tableau 2 : Evolutions simultanées des consommations d'énergies primaire et finale en France entre 1973 et 2009 [CGDD, 2010].

	1973	1979	1985	1990	2000	2005	2008	2009
Energie finale (Ef)	134	139	129	141	157	161	161	156
Energie primaire (Ep)	180	193	202	228	268	276	274	259
Rendement (Ef/Ep)	75%	72%	64%	62%	59%	58%	59%	60%

L'importance des équivalences et des conventions utilisées est encore plus criante lorsque l'on s'intéresse cette fois-ci à la production d'énergie primaire du territoire français. De fait, comme le montre la Figure 5, la production d'énergie électrique primaire via les centrales nucléaires représente plus de 86% de la production nationale d'énergie.

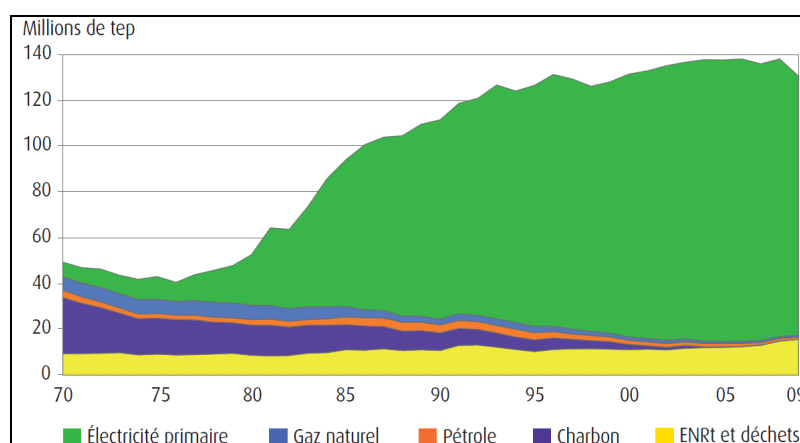


Figure 5 : Production française d'énergie primaire [CGDD, 2010]

Or, comme nous venons de le voir, si cette énergie est bien produite, les 2/3 ne sont pas utilisables car « perdus » sous forme de chaleur. Nous constatons alors que l'apparence des bilans

primaires peut être sujette à confusion, pouvant conclure à des interprétations variables. Par exemple, en considérant le taux d'indépendance énergétique de la France, les conventions utilisées actuellement permettent à ce pays de se targuer d'un taux proche de 50%. A l'inverse, si on établit que seule l'énergie exploitable c'est-à-dire celle envoyée sur le réseau détermine le taux d'indépendance, ce dernier se rapprocherait plus des 20%.

Au niveau sectoriel, les consommations d'énergie ont connu des variations pouvant différer selon que l'observation de leur part relative dans le mix énergétique ou encore de leur évolution respective. Ainsi, l'industrie (sidérurgie comprise) a vu sa part relative diminuer de 14 points (36% à 22%) notamment par la multiplication des délocalisations mais aussi par la mise en place de réglementations plus drastiques pour les industries restantes. Le secteur des transports a connu une forte progression passant d'une contribution au bilan des consommations de 19% à 32% entre 1973 et 2009. Enfin, la part du secteur résidentiel tertiaire est restée quasi stable en plus de 30 ans (42 à 44%) [CGDD, 2010]. Au niveau de l'évolution respective de chaque secteur, la consommation des transports a été multipliée par 2 (26 Mtep à 50 Mtep) alors que celle de l'industrie a été divisée par 3. Dans le même temps, le secteur du bâtiment a connu une progression de 23% (56 Mtep à 69 Mtep) faisant de ce dernier le premier secteur consommateur d'énergie en France et ce malgré une législation (réglementation thermique) de plus en plus contraignante (Tableau 3).

Tableau 3 : Evolution de la consommation française d'énergie finale par secteur.

	Consommation (Mtep)		Part relative (%)		Evolution de 1973-2009 (%)	
	1973	2009	1973	2009	Relative	Respective
Industrie	13	4	10	3	- 7	- 69
Sidérurgie	35	29	26	19	- 8	- 18
Résidentiel/tertiaire	56	69	42	44	+2	+ 23
Agriculture	4	4	3	3	0	0
Transport	26	50	19	32	+ 13	+ 92
Total	134	156	100	100	/	+ 16

Les consommations et productions d'énergies qu'elles soient mondiales ou nationales augmentent depuis plusieurs décennies. Si les bilans énergétiques peuvent varier dans leur interprétation selon les équivalences utilisées, le constat d'une « frénésie consumériste » reste marqué. Si ce constat était peu pris en compte à une certaine époque où les sources d'énergie qu'elles soient fossiles ou nucléaires étaient considérées comme inépuisables, il dévoile aujourd'hui son non sens à la vue de la raréfaction constatée des réserves mondiales exploitables

et de la prise de conscience de leur caractère fini.

1.3. Le pic de Hubbert ou la raréfaction des ressources.

L'idée même d'une raréfaction des ressources semble antinomique du schéma actuel de consommation et de production. De fait, depuis plusieurs années les prévisions montrent l'incapacité des stocks de ressources fossiles à subvenir aux besoins futurs. Aujourd'hui, l'existence d'un maximum de production suivi d'une déplétion semble globalement admise annonçant la fin de l'énergie bon marché et de possibles tensions quant à l'accession aux ressources énergétiques fossiles.

1.3.1. La théorie de la décroissance des ressources fossiles

La théorie sur la raréfaction des ressources fossiles fut dévoilée en 1956 par Marion King Hubbert, un géophysicien américain dont les travaux portaient sur les ressources primaires principalement le gaz et le pétrole [HUBBERT, 1956]. Lors d'une rencontre organisée par la compagnie Shell, il prédit l'évolution de la production de pétrole des USA, de la première exploitation jusqu'à l'épuisement avec une très grande précision. Cette évolution de la production, basée sur une méthode présentée sous la forme d'une courbe proche de la courbe de Gauss, met en évidence le moment clef (le « pic de Hubbert » en référence au géophysicien) où la production diminue (déplétion). La validation de cette théorie dans les années 1970 par la confirmation des « prédictions » de Hubbert transforma cette dernière en outil incontournable pour l'estimation des gisements de ressources naturelles (Figure 6).

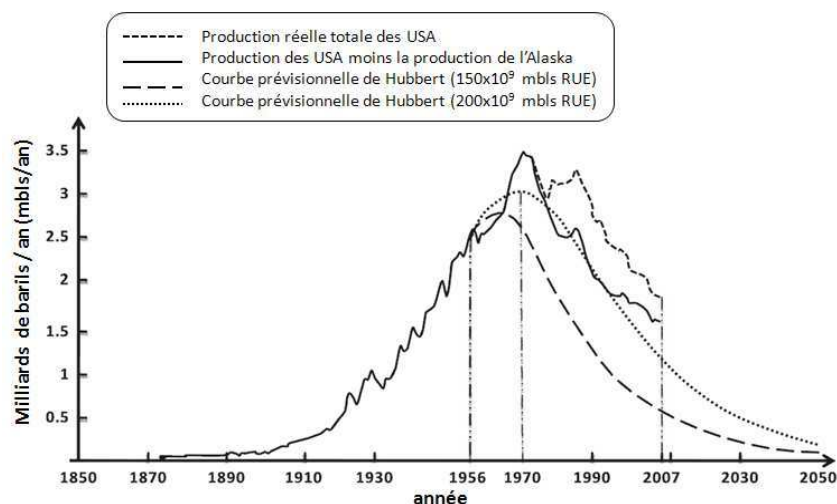


Figure 6 : Production réelle des Etats-Unis et prédiction faite par Hubbert en 1956 [VERBRUGGEN et al, 2010].

En 1990, sous l'impulsion de Colin Campbell [CAMPBELL et al, 1998], cet outil fut utilisé à l'échelle mondiale. L'explosion du nombre de recherches dans le domaine qui s'en suivit permit alors de définir les durées avant épuisement des ressources fossiles et ce à travers le monde. Prédire la durée avant épuisement des ressources fossiles, et notamment du pétrole et du gaz, reste assujetti à de nombreuses controverses. Selon Hubbert, le pic est atteint lorsque 50% des ressources (ou réserves) ultimes exploitables (RUE) sont consommées. Les RUE sont ici différentes des ressources totales sur Terre. En effet, les ressources totales représentent les quantités réellement présentes (ou estimées) dans la nature. Ces dernières incluent généralement tous les types de ressources, c'est-à-dire celles communément dites conventionnelles et non-conventionnelles⁴ [VERBRUGGEN et al, 2010]. Parmi ces deux types, seuls 60% sont physiquement extractibles à la vue des technologies utilisées et forment donc les RUE. Deux catégories de RUE peuvent être distinguées : les ressources découvertes et à découvrir. Les ressources à découvrir sont dites « prospectives » alors que celles découvertes sont de deux ordres : les ressources contingentes et les réserves. Les ressources contingentes représentent les quantités d'hydrocarbures découvertes mais non exploitables dans les conditions technico-économiques actuelles (Figure 7).

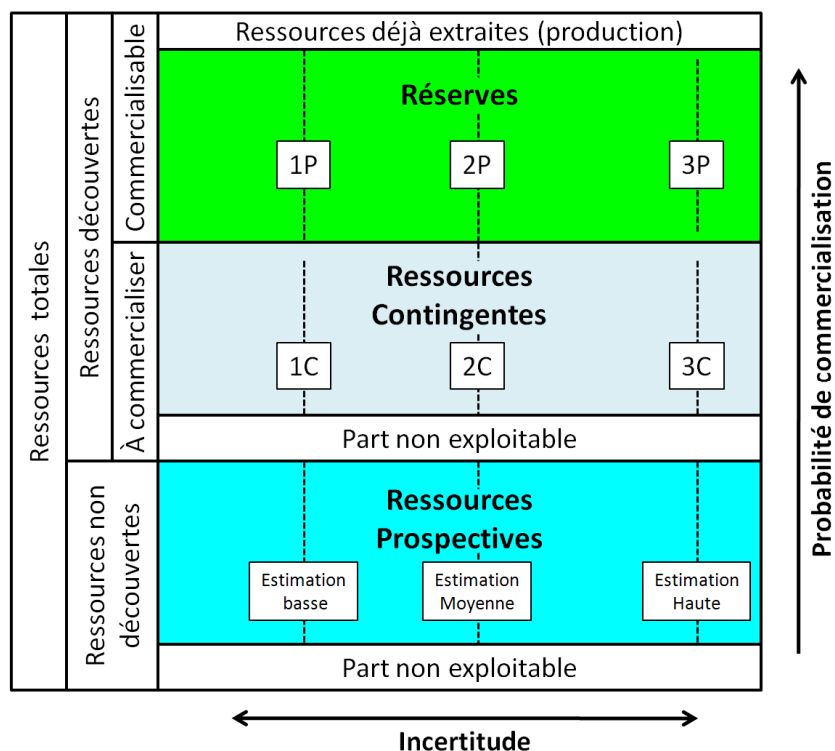


Figure 7 : Classification des ressources. [SPE, 2007]

⁴ Une ressource est dite conventionnelle ou non selon la technique utilisée pour l'extraire. Dans le cas du pétrole, l'adjectif conventionnel n'est utilisé que pour les ressources extraites de réservoirs par des puits pétroliers terrestres. Le pétrole non conventionnel fait quant à lui référence par exemple à la ressource extraite des schistes bitumineux ou issue de forage en haute mer.

A l'inverse, une quantité de pétrole découverte peut être définie en tant que réserve lorsque son exploitation et sa commercialisation s'avèrent faisables d'un point de vue technique et viables d'un point de vue économique [SPE, 2007]. Trois niveaux de réserves peuvent être décrits : les réserves prouvées, les réserves probables et les réserves possibles. Les quantités d'hydrocarbures qui ont une probabilité de récupération supérieure ou égale à 90% grâce aux techniques actuelles et dans les conditions économiques courantes sont dites « 1P » ou « réserves prouvées ». Les réserves de pétrole dont les probabilités de récupération tant technique qu'économique sont comprises entre 50 et 90 % sont dites probables ou « 2P ». Enfin, lorsque la probabilité d'extraction d'un gisement est inférieure à 10%, les réserves sont dites possibles ou « 3P » [TSOSKOUNOGLOU et al, 2008].

Bien entendu, les quantités de réserves et de ressources font débat. Par conséquent, prédire avec certitude le moment précis auquel interviendra le pic de Hubbert au niveau mondial s'avère complexe, complexité d'autant plus grande que l'évolution du prix des ressources couplée au développement de nouvelles technologies auront une influence sur l'exploitation de ces dernières. Malgré cela, en tenant compte de ces incertitudes, des scénarios plus ou moins optimistes quant à la durée des réserves ont pu être extrapolés (le niveau d'optimisme variant selon les commanditaires de l'étude et les données utilisées). Ainsi, l'évaluation la plus pessimiste évalue la date du pic à l'année 2005 alors que la plus optimiste la date autour de l'année 2020 [TSOSKOUNOGLOU et al, 2008]. Au niveau mondial, seul le charbon possède une « espérance de vie » supérieure à la centaine d'années alors que celles des réserves de gaz et du pétrole avoisinent le demi-siècle. Quelles que soient la véracité de ces scénarios et leur précision, la raréfaction des ressources semble largement amorcée et l'accès à ces dernières, dépendant notamment de leur répartition à été [COLGAN, 2011] et sera source de conflit [BARNETT et al, 2007].

1.3.2. Des consommations décorréées des zones de production.

La raréfaction des ressources d'énergies principalement d'origine fossile impactera les différentes sociétés humaines. Si les impacts de la réduction des ressources disponibles seront variables selon les nations, les plus gros consommateurs généralement situés dans les pays occidentaux risquent d'être les plus touchés. De fait, les pays occidentaux développés appartenant pour la plupart à l'OCDE font partie avec la Russie et la Chine des pays consommant le plus de ressources (Figure 8).

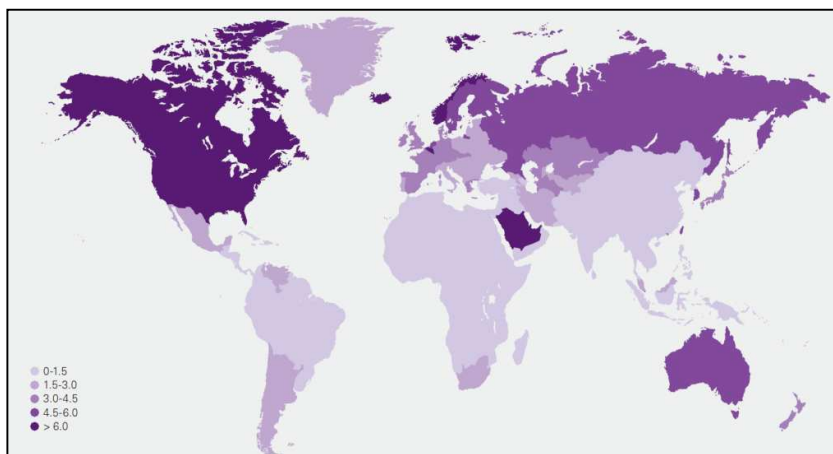


Figure 8 : Consommation moyenne de pétrole (tep) par habitant en 2008. [BP, 2009]

Ainsi, en 2009, 55,5% des ressources en pétrole et 49,7% des ressources en gaz ont été consommées par les pays de l'OCDE alors que sur la même année l'extraction de ces ressources par ces pays ne représentait respectivement que 22% et 37,3% de la production mondiale [BP, 2009]. Si l'on prend le cas de la France, ce pays n'assurant officiellement que la moitié de sa consommation primaire d'énergie, ce n'est pas moins de 85 millions de tonnes de pétrole et 45 milliards de mètres cubes de gaz qui ont été importés.

Les ressources, leurs lieux de production et de consommation entraînent donc un échange de ces biens. Les pays dont la production est excédentaire importent moins de ressources fossiles que ce qu'ils produisent alors que les pays en déficit se voient obligés d'importer une partie de leur énergie. La Figure 9 présentée ci-dessous illustre ces échanges (ici les ressources en pétrole) et leurs destinations. L'Amérique du Nord et l'Europe sont les plus gros importateurs alors que les pays du Moyen Orient ou encore du Pacifique exportent la majorité de leur production.

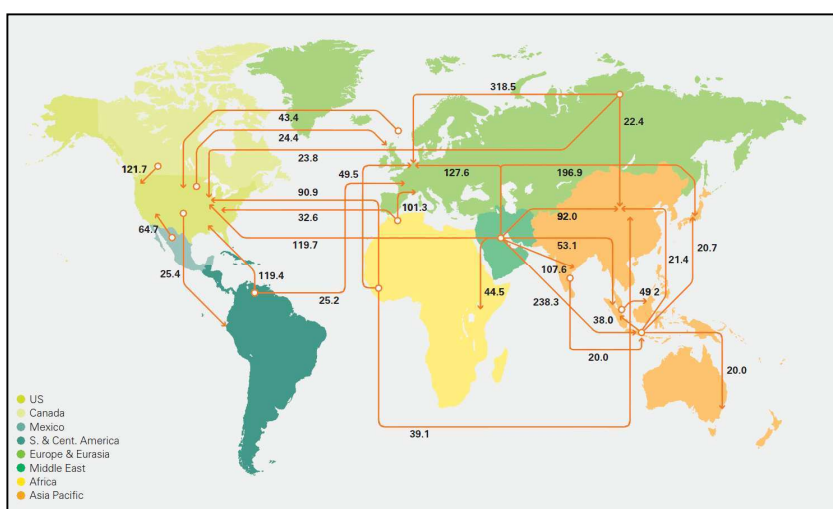


Figure 9 : Echanges internationaux des ressources en pétrole (MT) en 2008. [BP, 2009]

Ces échanges dans un climat de relative stabilité et dans un contexte où les ressources restent encore relativement accessibles semblent cependant de plus en plus complexes. La maîtrise des ressources énergétiques s'avère donc un point crucial des sociétés pour leur développement, d'autant plus que leurs utilisations auront un impact sur l'ensemble des systèmes qu'ils soient anthropiques ou naturels. En effet, les problèmes d'utilisation couplés à la raréfaction des ressources ne représentent qu'une partie des motivations des sociétés contemporaines vers une plus grande sobriété des consommations. Ainsi, lorsque l'on parle aujourd'hui de consommation de ressources fossiles, on y associe le plus souvent les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) et leurs conséquences sur le climat [TOL et al, 2004].

2. Changements et dérèglements climatiques, héritage d'un mode de vie.

Les sources d'énergie, et principalement celles d'origine fossile, de part leur composition chimique, génèrent des gaz à effet de serre lors de leur combustion ou plus généralement lors de leur utilisation.

2.1. Des émissions de gaz à effet de serre...

L'effet de serre est un phénomène naturel permettant la vie sur la terre. L'une des conséquences les plus notables est le maintien d'une température moyenne sur le globe (moyenne tout continent et toute saison confondus) à 15°C. Sans cet effet de serre, la température moyenne sur terre avoisinerait les -18°C, température incompatible avec les formes de vie connues. Généralement, la mesure des émissions de GES (flux) s'exprime en $t_{eq}CO_2$ alors que la concentration atmosphérique (stock) se calcule en ppm (partie par million). Le CO_2 , bien qu'étant un GES n'est pas le seul représentant de cette catégorie. En effet, les principaux GES définis et pris en compte par le protocole de Kyoto sont au nombre de six : le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), l'oxyde nitreux (N_2O), les hydrofluorocarbones (HFCs), les hydrocarbures perfluorés (PFCs) et l'hexafluorure de soufre (SF_6) [ONU, 1998]. Bien entendu, ces GES restent à l'état de traces dans l'atmosphère comparée à d'autres éléments gazeux (l'eau représente 72% de l'effet serre). Cependant du fait de leur pouvoir de réchauffement global (dit PRG)⁵ dont la référence est attribuée au dioxyde de carbone (PRG = 1), une augmentation de leur concentration contribuerait à renforcer l'effet de serre ; ce renforcement étant la cause des changements climatiques.

⁵ Le PRG est un indicateur fréquemment utilisé pour exprimer les différentes contributions des gaz sur le renforcement de l'effet de serre.

2.1.1. Le PRG et la transposition en équivalent CO₂.

Les GES n'ayant pas la même influence du fait de leurs propriétés radiatives et de leur durée de vie, il est généralement choisi de les agréger pour les représenter. Par convention, le dioxyde de carbone ou plutôt l'équivalent CO₂ (eqCO₂) est utilisé pour représenter les concentrations atmosphériques (stock en ppm) ainsi que les émissions ou flux de gaz à effet de serre émis par l'homme.

- L'émission d'équivalent CO₂ est « la quantité émise de dioxyde de carbone qui provoquerait le même forçage radiatif intégré dans le temps jusqu'à une date donnée qu'une quantité émise d'un gaz à effet de serre à longue durée de vie ou qu'un mélange de gaz à effet de serre. L'émission d'équivalent CO₂ est obtenue en multipliant l'émission d'un gaz à effet de serre par son potentiel de réchauffement global (PRG) pour la période de temps considérée (généralement 100 ans). Dans le cas d'un mélange de gaz à effet de serre, elle est obtenue en additionnant les émissions d'équivalent CO₂ de chacun des gaz » [GIEC, 2007].
- La concentration d'équivalent CO₂ est « la concentration de dioxyde de carbone qui entraînerait un forçage radiatif de même ampleur qu'un mélange donné de CO₂ et d'autres éléments de forçage » [GIEC, 2007].

Les PRG et donc les équivalences en CO₂ (Encart 1) définies par le GIEC et la conférence des parties sont présentées dans le Tableau 4.

Tableau 4 : PRG et durée de vie des 6 GES concernés par le protocole de Kyoto. [IPCC, 2007]

	PRG* (Horizon de 20 ans)	PRG* (Horizon de 100 ans)	Durée de vie
CO ₂	1	1	100 ans
CH ₄	72	25	12 ans
N ₂ O	289	298	114 ans
HFC	Entre 437 et 12 000**	Entre 124 et 14 800**	Entre 1 et 260 ans
PFC	Entre 5 210 et 8 630**	Entre 7 300 et 12 200**	Environ 10 000 ans
SF ₆	16 300	22 800	3200 ans
* en CO ₂ eq, ** variable selon la molécule considérée			

Encart 1 : Le PRG et ses variations.

L'utilisation d'équivalences permet une comparaison et une quantification des émissions et concentrations de GES dans l'atmosphère. Cependant, ces équivalences n'impliquent en aucun cas une interaction ainsi qu'une contribution identique de ces gaz aux changements climatiques. Par exemple, si l'on prend le cas du méthane, son PRG égal à 25 est estimé sur la période de temps de 100 ans à partir du jour de son émission dans l'atmosphère (par exemple une molécule de méthane émise en 2010 aura un PRG de 25 valable uniquement entre 2010 et 2110). Si l'horizon temporel n'est plus que de 50 ans comme celui utilisé pour définir l'objectif du facteur 4 (cf. 3.2.2), le PRG du méthane atteint 50 (72 pour un horizon de 20 ans). Le PRG du méthane passant du simple au double, sa contribution aux changements climatiques prend alors une importance nettement supérieure [DESSUS et al, 2008].

De part ces conventions, la concentration atmosphérique cumulée des six gaz à effet de serre précédemment cités s'élevait à 438 ppm équivalent CO_2 en 2008 soit près de 160 ppm de plus que la valeur préindustrielle (année 1800) [IEA, 2011]. Le seul CO_2 avec une concentration atmosphérique de 386 ppm et une augmentation annuelle de 1,9 ppm reste le plus grand contributeur au renforcement de l'effet de serre et aux changements climatiques. Bien que la concentration atmosphérique de CO_2 varie annuellement selon les saisons et au gré des phénomènes géologiques (volcanisme) et biologiques (respiration), la progression enregistrée est majoritairement imputable aux activités anthropiques [GIEC, 2007]. Les relevés des concentrations atmosphériques à différents points de mesure sur le globe font ressortir cette influence humaine. Influence marquée dans les pays situés au nord de l'équateur du fait de leurs émissions continues depuis plusieurs décennies (Figure 10).

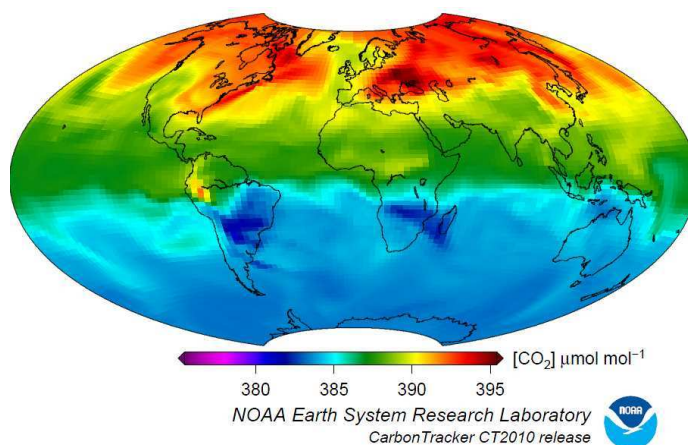


Figure 10 : Représentation des concentrations troposphériques en CO_2 le 20 mars 2009

2.1.2. Les émissions de GES.

L'augmentation des concentrations atmosphériques en GES est largement imputable aux activités humaines et ce depuis le début de l'ère industrielle. De fait, la constance des concentrations observées sur le dernier millénaire fait place vers les années 1750 à un accroissement imputable au développement et à l'industrialisation de certains pays. L'évolution des émissions de GES connaît de plus un constant accroissement de son ratio annuel. Ainsi, en 2004, les émissions mondiales de GES atteignaient 49 Gt_{eq}CO₂/an contre 39,4 en 1990 et 28,7 en 1970. La majeure partie de ces hausses sont imputables à l'utilisation des terres et à leurs changements ainsi qu'au secteur de l'énergie et des transports [GIEC, 2007]. Ces différents secteurs ayant progressé depuis 1990 respectivement de 48, 37 et 32%. Chaque pays, ou zone géographique n'émet cependant pas la même quantité de GES. Bien que des émissions absolues puissent permettre de différencier les régions émettant le plus d'_{eq}CO₂, l'utilisation d'indicateurs relatifs tel que l'émission par habitant (t_{eq}CO₂/habitant) permet de ramener ces émissions à l'individu et donc de tenir compte de l'impact de chacun, de son mode de vie et des disparités entre pays. Par exemple, les pays nord américains (Etats-Unis et Canada), avec 25 t_{eq}CO₂/habitant, émettent près de 10 fois plus que les pays d'Asie du Sud et d'Afrique et 4 fois plus que la moyenne mondiale (6,5 t_{eq}CO₂) (Figure 11). D'une façon générale, les pays développés ou dont l'économie est en transition (Annexe I) sont les états les plus émetteurs.

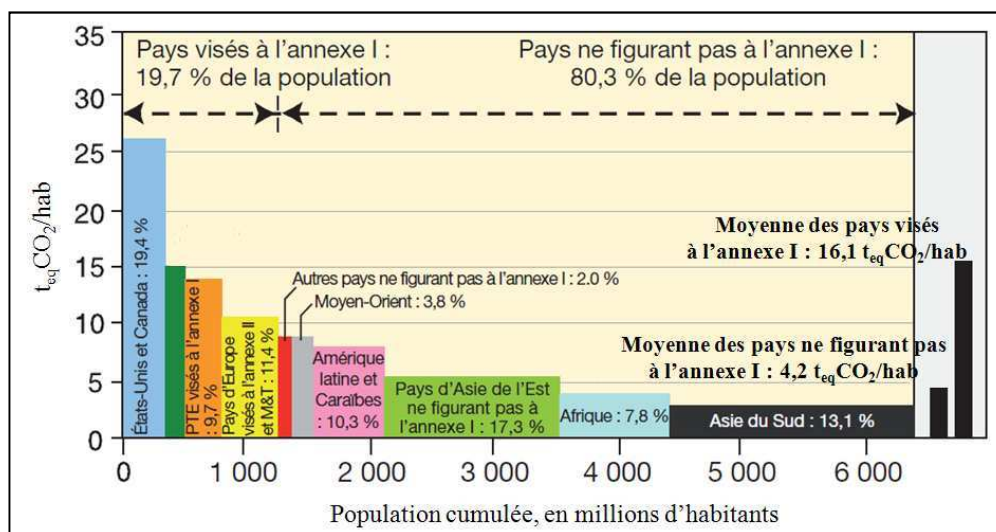


Figure 11 : Répartition régionale des émissions de GES par habitant selon la population des différents groupes de pays en 2004. [GIEC, 2007]

La population française émettait en moyenne en 2004, près de 9 t_{eq}CO₂/habitant (542 millions tonnes d'équivalent CO₂ émis pour plus de 60 millions d'habitants). Parmi les secteurs français les plus émetteurs, la prédominance du transport routier avec 26% reste marquée suivi

par l'industrie manufacturière (20%) et l'agriculture (19%). Le résidentiel tertiaire et la transformation de l'énergie contribuent quant à eux respectivement à hauteur de 19 et 13% [GT Facteur 4, 2006].

Ces émissions corrélées aux consommations d'énergie qu'elles soient mondiales ou nationales accompagnent une évolution de la production de biens et une « amélioration » du niveau de vie depuis plusieurs décennies (l'amélioration étant significative pour une minorité de la population). De fait, l'utilisation d'indicateurs par $t_{eq}CO_2/\$/PIB$ montre une complète inversion de l'intensité des émissions. Les pays occidentaux de par une technologie plus aboutie et une plus grande tertiarisation de l'économie peuvent de fait produire plus de richesse en émettant moins. Cependant, ces émissions relatives quelle que soit leur unité ne doivent pas faire oublier l'augmentation globale des flux d'émissions. Ces flux non contrôlés ont des conséquences aujourd'hui avérées sur les écosystèmes et le climat.

2.2. ... aux conséquences variables mais redoutées.

L'une des conséquences les plus notables d'une augmentation de la concentration de GES et des flux d'émissions concerne l'évolution de la température moyenne de la surface du globe. En effet, les gaz pris en compte par le protocole de Kyoto ont la capacité de modifier l'effet de serre sur la Terre. Un changement de leur teneur dans l'atmosphère aura donc des conséquences variables sur le climat. Plusieurs scénarios développés par le GIEC évaluent selon les niveaux de concentration atmosphérique en GES les conséquences possibles à l'horizon 2100. Quatre familles de scénarii (A1, A2, B1, et B2) issues du SRES (Special Report on Emissions Scenarios) sont considérées [GIEC, 2001]. Se basant sur une évolution différente des caractéristiques démographiques, des technologies ou encore de l'économie, une fourchette des concentrations de GES comprise entre 550 (Scénario B1) et 1000 ppm (Scénario A1FI) a été estimée soit au maximum 4 fois plus qu'en 1800. De telles concentrations provoqueront une augmentation de la température de 1,8 à 6,4°C [GIEC, 2007] selon les scénarii (Figure 12).

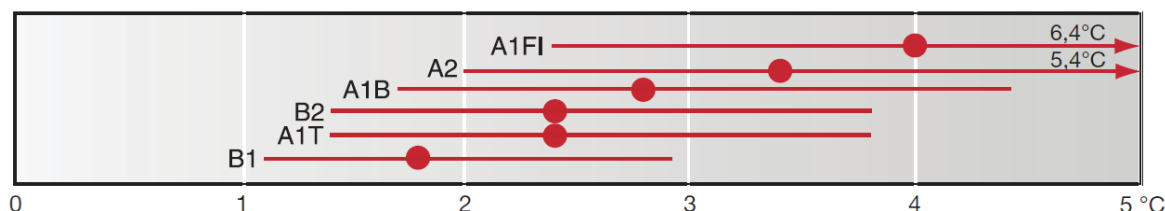


Figure 12 : Réchauffement en 2090-2099 par rapport à 1980-1999 pour les scénarii SRES [GIEC, 2007]

Le changement de température ne sera cependant qu'une des conséquences d'une variation de l'effet de serre. Ces conséquences toucheront différemment les systèmes anthropiques et ce à une

échelle géographique (impacts locaux, impacts planétaires [MOREAU et al, 2009]) comme temporelle. Bien que la probabilité soit variable, plusieurs grandes tendances sont évoquées par le GIEC parmi lesquelles une variation des précipitations selon les régions (accentuation de l'aridité dans les pays de l'Afrique du nord), une acidification et l'augmentation du niveau des océans, ou encore l'accroissement de l'occurrence des phénomènes climatiques extrêmes (Figure 13).

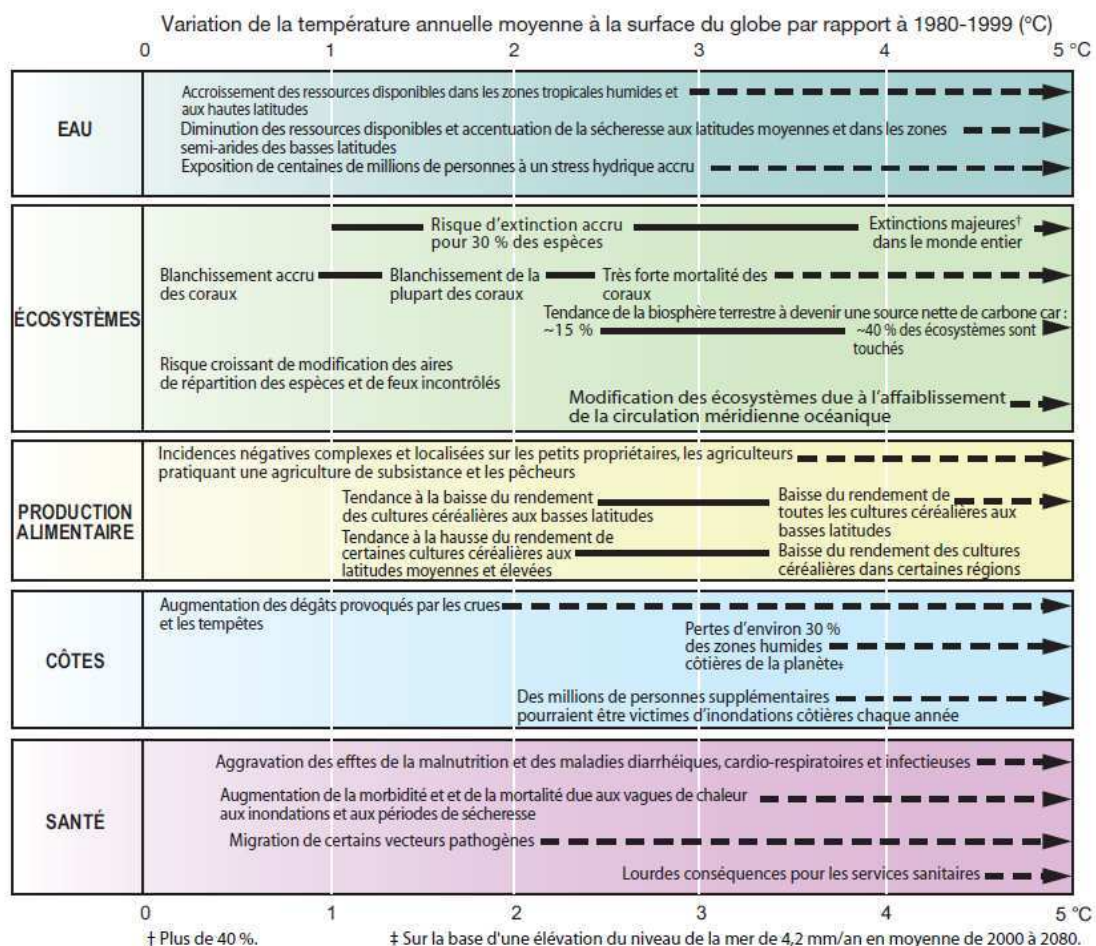


Figure 13 : Exemples d'incidences associées à la variation de la température moyenne à la surface du globe [GIEC, 2007].

L'homme, en tant qu'élément de l'écosystème, ressentira les conséquences environnementales d'un dérèglement climatique. Les impacts négatifs dus à des émissions non contrôlées de GES auront des conséquences importantes d'autant plus qu'elles se retranscriront aux sphères sociales et économiques. Si les possibilités d'adaptation sont multiples, les capacités des différents pays à les mettre en place sont inégales. De plus, l'aspect planétaire de ce phénomène, tant au niveau des responsabilités en termes d'émissions qu'en termes de conséquences sur les écosystèmes impose une prise en compte internationale de ce problème (les pays les plus émetteurs ne seront pas forcément les plus touchés par les conséquences environnementales et réciproquement). Ainsi

c'est dans le cadre de négociations internationales entre les différentes nations que doivent être définies les objectifs en termes de limites des émissions ainsi que des mesures visant à réduire la vulnérabilité des populations et sociétés. Ces objectifs sont jusqu'alors axés majoritairement sur les limitations des émissions de GES des différents pays du Monde. A cette fin, la convention de Rio sur le climat a défini le principe des « responsabilités communes mais différenciées ». L'outil choisi dans le cadre du protocole de Kyoto est l'approche « *cap and trade*⁶ », et en particulier la mise en place de quotas d'émissions à travers des engagements signés au niveau international ou actés au niveau national.

3. Les sommets internationaux, de la création de valeurs à la formalisation du facteur 4.

3.1. De la prise de conscience internationale vers l'émergence du facteur 4.

De Rio (sommet de la Terre) à Durban en passant par Kyoto, les négociations climats engagées depuis plus de 35 ans ont permis la prise en compte des problèmes climatiques et de l'influence des activités humaines et de leur développement sur ces derniers.

La problématique entre environnement et développement évoquée pour la première fois en 1971 lors de la réunion de Founex⁷ et reprise à Stockholm en 1972 a mis en évidence l'interrelation entre ces deux thèmes et la nécessité d'allier le développement socio-économique revendiqué par les pays du Sud au respect de l'environnement prôné par le Nord [BOUTAUD, 2004]. C'est cette préoccupation qui sera synthétisée 15 ans plus tard par la Commission Mondiale de l'Environnement et du Développement à travers son rapport intitulé « Notre avenir à tous ». Ce rapport sera popularisé sous le nom de rapport BRUNTLAND, du nom du premier ministre Norvégien Madame Gro Harlem Brundtland. C'est par ce rapport que va se cristalliser le concept de « sustainable development » (Développement durable pour sa traduction française). Le développement durable, défini comme « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs » [CMED, 1987] permet la création d'une valeur conciliant des points de vue et des intérêts divergents sur les questions d'environnement et de développement. Elaboré de façon collaborative afin de permettre l'approbation du plus grand nombre, le concept de développement durable formalisé à Rio (1992)

⁶ Le « *cap and trade* » est un système mis en place avec le marché international de droits d'émissions de GES. Il permet à une installation (Usines, entreprises, ...) de vendre ou d'acheter sous certaines conditions des droits d'émissions à une autre installation.

⁷ C'est en outre à la réunion de Founex, organisée par Maurice Strong qu'est né le terme « éco-développement », précurseur du concept de développement durable.

par le triptyque environnement, économie et social reste néanmoins une notion dont l'appropriation deviendra compétitive [BOUTAUD, 2004]. Plusieurs grands moments ont marqué l'engagement mondial pour la lutte contre le changement climatique. La première grande pierre à l'édifice a été apposée en 1992 à Rio de Janeiro par la convention cadre des Nations Unies. 13 ans plus tard, le protocole de Kyoto, rentré en vigueur le 16 février 2005 a défini et mis en œuvre la convention cadre en contraignant les pays signataires visés à l'annexe I du protocole à limiter individuellement ou conjointement leurs émissions de GES. Ces émissions doivent au niveau global être abaissées de 5% par rapport à 1990 sur la période d'engagement allant de 2008 à 2012. La France, en tant que pays signataire, doit stabiliser ses émissions au niveau de 1990 afin de participer au niveau européen à une baisse de 8 % des émissions [ONU, 1998]. L'effort porté par les pays de l'annexe I doit être maintenu afin de réduire au minimum « *les effets négatifs, notamment les effets néfastes des changements climatiques, les répercussions sur le commerce international et les conséquences sociales, environnementales et économiques pour les autres parties et surtout les pays en voie de développement* » [UNFCCC, 2011]. Le protocole de Kyoto représentait « la première phase » d'engagement des pays signataires qui, en 2009 à Copenhague, devaient trouver un accord pour l'échéance de 2020. Les négociations de Copenhague, bien que relevant plus du discours politique que d'un réel engagement, ont abordé et réaffirmé la nécessité d'accentuer les actions en faveur d'une limitation des GES pour les décennies à venir. Ainsi, le 18 décembre 2009, les principaux chefs d'Etats présents se sont « accordés à penser » qu'une forte diminution des émissions mondiales s'avère indispensable en vue de limiter la hausse de la température de la planète en dessous de la valeur de 2 °C. « *Pour atteindre cet objectif, des mesures cadrant avec les données scientifiques et fondées sur l'équité seront engagées* » [UNFCCC, 2010]. Bien que cet accord confirmé, à Durban en 2011 ne fasse aucune référence quantitative à l'effort à fournir, certains pays, comme la France et ce à différentes temporalités, se sont, par ailleurs, dans leurs politiques nationales engagés sur un objectif de plus long terme : le Facteur 4.

3.2. Le facteur 4, transposition nationale d'un objectif mondial.

3.2.1. L'apparition d'un concept dans la littérature.

Le terme « facteur 4 » est introduit pour la première fois en 1997 dans un rapport au Club de Rome [von WEIZACKER et al, 1997]. Ce document, par l'application de cinquante exemples concrets, tente de démontrer la possibilité et l'opportunité de progrès que pourrait entraîner la notion de Facteur 4. Le progrès, perçu comme synonyme d'amélioration a été porté depuis la fin du XIX^{ème} siècle par la notion de productivité du travail. Le taylorisme et le fordisme ciblaient l'augmentation du rendement et de la production par une organisation scientifique du travail [TAYLOR, 1911]. Si ces méthodes étaient efficaces économiquement dans un monde où les

ressources naturelles étaient considérées comme infinies et où les hommes étaient considérés pour leur seule capacité de production à court terme, elles se heurtent aujourd'hui au mur de la réalité environnementale et sociale. Dans ce réel, le progrès ne semble plus pouvoir être atteint uniquement par la productivité du travail. « *L'utilisation de hauts quanta d'énergie a des effets aussi destructeurs pour la structure sociale que pour le milieu physique. Un tel emploi de l'énergie violant la société et détruisant la nature* » [ILLICH, 1973].

L'approche « facteur 4 » propose une alternative à cette impasse en apportant des solutions concrètes à un développement dans lequel le progrès serait provoqué non plus par la productivité du travail mais par celle des ressources. Dans cette optique, le facteur 4 est défini par von Weizsäcker et al, comme « *le coefficient permettant une multiplication par quatre de la productivité des richesses, c'est-à-dire une utilisation quatre fois plus importante de la même quantité de ressources* ». Ainsi, « *si la productivité des ressources était multipliée par quatre, le monde serait deux fois plus prospère que maintenant, tout en diminuant de moitié la pression exercée par l'humanité sur son environnement* » [von WEIZACKER et al, 1997]. Autrement dit, l'humanité pourrait prétendre à « *deux fois plus de bien-être tout en consommant deux fois moins de ressources* ». Cette définition du facteur 4 montre un lien étroit entre productivité des ressources, richesses, bien-être, et pression sur l'environnement. L'approche « facteur 4 » de cette fin du XX^e siècle dévoile par son caractère englobant des répercussions impactant aussi bien les sphères économiques (Richesses $\times 4$), sociales (bien-être $\times 2$), qu'environnementales (diminution par 2 de la pression sur l'environnement) (Figure 14).

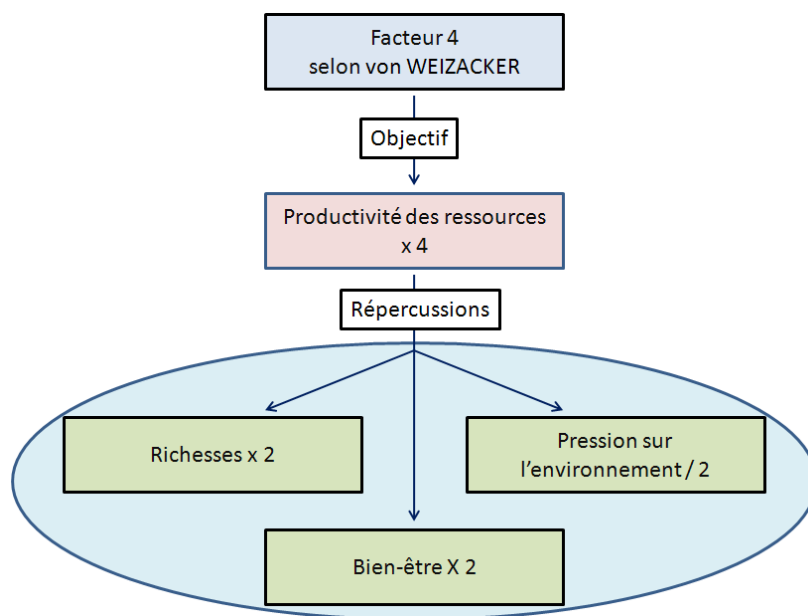


Figure 14 : Le facteur 4 en 1997 et ses répercussions directes. [VILLOT et al, 2010]

Le facteur 4 ne remet pas ici en cause la notion de progrès telle qu'elle est communément admise au sein des sociétés modernes voire au contraire l'encourage. En effet, le facteur 4 tente ici d'apporter une solution à « la maladie du gaspillage ». De fait le gaspillage des ressources *« appauvrit les familles (en particulier les foyers aux revenus modestes), diminue la compétitivité, met en péril nos ressources, empoisonne l'eau, l'air, le sol et les gens, supprime des emplois et diminue la vitalité économique »* [von WEIZACKER et al, 1997]. La recherche d'un développement qualitatif et non quantitatif est encouragée, afin de rendre compatible le développement des sociétés modernes avec les limites physiques de la planète. C'est donc vers des sociétés soutenables que le facteur 4 se prédispose, veillant à la préservation des équilibres naturels, aux richesses et à l'équité sociale. Ce concept novateur et embrassant de multiples aspects, va cependant au début des années 2000, sous le poids des préoccupations climatiques, se modifier pour se focaliser sur les émissions de gaz à effet de serre (Encart 2). Il va alors être approprié par différents acteurs afin de représenter l'effort de diminution (d'un facteur 4) à mener par les pays industrialisés dont la France, en vue de ramener, à l'horizon 2050, les émissions de gaz à effet de serre (GES) à un niveau jugé acceptable et équitable sur le plan mondial.

Encart 2 : Le facteur 4 de Weizsäcker et les pressions environnementales.

Le facteur 4 introduit par Weizsäcker et al inclut dans les pressions environnementales les émissions de GES. Cependant, ces émissions ne sont perçues que comme une conséquence indirecte de la mise en place d'une meilleure productivité des ressources. Par conséquent, aucun objectif chiffré n'est avancé bien qu'une corrélation évidente soit perceptible entre une meilleure utilisation des ressources et leurs émissions concomitantes.

3.2.2. La transposition aux questions climatiques

Qu'est ce que le facteur 4 aujourd'hui ? A quoi fait-il référence ? Pourquoi est-il plus particulièrement associé aux changements climatiques ? Les rapports successifs du GIEC (Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat), entre 1990 et 2007, comme nous l'avons déjà évoqué, ont mis en évidence le fait que des changements climatiques sont en cours et que la responsabilité de ces changements peut être attribuée aux activités humaines. Indirectement et bien que le GIEC ne fasse pas explicitement référence au facteur 4 à proprement parler, cet objectif est basé en partie sur les scénarii de ce groupe d'experts et plus particulièrement sur ceux développés en 2001 [GIEC, 2001]. En effet, selon les scénarii SRES développés dans le troisième rapport du GIEC, pour limiter au maximum la vulnérabilité des écosystèmes et populations actuelles et faciliter l'adaptation de ces derniers aux changements climatiques, la hausse moyenne des températures sur le globe ne devrait pas excéder 2°C. Cela correspondait en 2001 pour le scénario le plus optimiste à une concentration atmosphérique maximale en CO₂ en

2050 de 450 ppm soit une limitation des flux d'émissions à 4Gt de carbone par an (soit 14,7 Gt de CO₂) au niveau planétaire (-50 % par rapport à 2000 = facteur 2) [GIEC, 2001]. Chaque pays ayant une responsabilité différente face au changement climatique, l'objectif au niveau planétaire a été rapporté au nombre d'habitants de la planète et par la suite à celui des différentes nations (cette retranscription relative de l'objectif absolue ayant permis de définir des ratios de diminution par pays). Ainsi, au niveau global, en posant l'hypothèse d'une population mondiale aux environs de 6,2 milliards, cela revient à attribuer par habitant une possibilité d'émission limitée à 0,6 t_{eq}C/an contre 2,4 t_{eq}C/an actuellement pour un français moyen. Cela représentait donc une division par 2 des émissions mondiales et par 4 des émissions nationales françaises par habitant [GT Facteur 4, 2006]. En se basant sur cet objectif, au début des années 2000 le facteur 4 appliqué aux questions climatiques a été défini comme la division par 4 des émissions françaises de carbone. Cette réduction des émissions contribuant à la stabilité mondiale des flux, des stocks et de la température (respectivement à 4Gt C, 450 ppm et 2°C) (Figure 15).

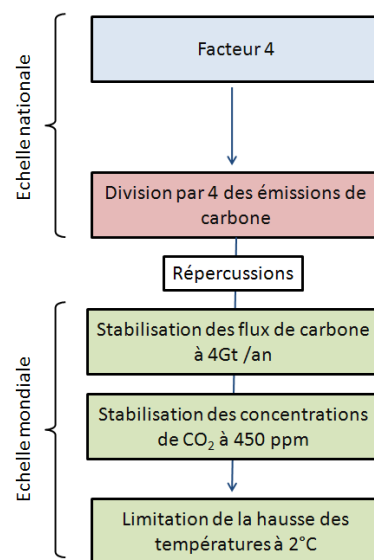


Figure 15 : Le facteur 4 climatique au début des années 2000 et ses répercussions directes [VILLOT et al, 2010].

Cette première définition ne recouvrait cependant qu'une partie du champ des gaz à effet de serre responsables des changements climatiques. En effet, basées sur les scénarii du GIEC de 2001, seules les émissions de CO₂ étaient prises en compte et donc retranscrites par l'objectif du facteur 4. La définition s'est donc précisée au cours des années afin d'englober l'ensemble des GES. A cela s'est ajoutée une date de référence (1990) à laquelle devait être appliquée la division par 4 au niveau national. Le choix de cette date s'explique par le désir de cohérence avec le protocole de Kyoto. Ces évolutions quant à la définition du champ couvert ont été perceptibles notamment lors de la retranscription du facteur 4 dans les politiques françaises de lutte contre le changement climatique.

3.3. L'apparition de l'objectif dans les politiques françaises.

En France, l'expression « facteur 4 » entre dans le champ de la décision politique le 19 février 2003 lors de l'allocution d'ouverture de la 20^e session du GIEC par le premier ministre de l'époque Jean-Pierre Raffarin [TUDDENHAM, 2006]. A la suite de cette allocution et de travaux prospectifs visant à élaborer des scénarii pour la France à l'horizon 2050, de nombreux plans et textes de loi ont fait allusion à l'objectif du facteur 4. C'est en 2004 par l'intermédiaire du plan climat lancé par la France afin de respecter ses engagements pris au travers du protocole de Kyoto que va réapparaître la notion de facteur 4. En effet, bien que l'objectif du plan climat était d'économiser 54 millions de tonnes équivalent CO₂ par an à l'horizon 2010, des stratégies post 2010 ont été définies. Ainsi, *« s'appuyant sur les évaluations du troisième rapport du GIEC, la France considère que la concentration de CO₂ dans l'atmosphère ne devrait pas dépasser 450 ppm, pour éviter que la température moyenne du globe ne s'élève de plus de 2 °C, et que, par conséquent, il faut diviser par deux les émissions mondiales de gaz à effet de serre ce qui devrait conduire les pays industrialisés à réduire leurs émissions par un facteur quatre à cinq sur la même période. Dans ce cadre, l'objectif à long terme de la France est donc de réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 75 % à 80 % en 2050 »* [PLAN CLIMAT, 2004]. Cet « engagement » pris par la France, fait ressortir la définition de l'objectif du Facteur 4 basée sur le rapport du GIEC de 2001 et la première évolution apportée à savoir la généralisation de la limitation des émissions à l'ensemble des GES.

Un an après la mise en place du plan climat, la France va officialiser l'objectif du facteur 4 à travers la loi n° 2005-781 du 13 juillet 2005 de Programme fixant les Orientations de la Politique Énergétique (Loi POPE) [LOI POPE, 2005]. Cette loi, par son article 2, *« vise une diminution de 3 % par an en moyenne des émissions de gaz à effet de serre de la France ... et soutient la définition d'un objectif de division par deux des émissions mondiales de gaz à effet de serre d'ici à 2050, ce qui nécessite, compte tenu des différences de consommation entre pays, une division par quatre ou cinq de ces émissions pour les pays développés »*. L'apparition du concept de facteur 4 dans un texte de loi est un élément fort d'une réelle prise de conscience des efforts à fournir pour lutter contre le changement climatique. La définition d'un objectif annuel permet ici d'amorcer une réduction continue au cours des décennies à venir (en effet, la réduction des émissions de GES doit être amorcée le plus tôt possible du fait de la relation existant entre le pic d'émissions mondiales et les conséquences sur la température du globe). Cependant, l'absence d'objectif quantifié par rapport à une date précise impacte la portée de cet engagement.

Ce problème sera résolu le 3 août 2009 par la loi de programmation relative à la mise en place du Grenelle de l'environnement. Cette loi au travers de son titre 1^{er}, article 2 confirmera *« l'engagement pris par la France de diviser par quatre ses émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et*

2050 en réduisant de 3% par an, en moyenne, les rejets de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, afin de ramener à cette échéance ses émissions annuelles de gaz à effet de serre à un niveau inférieur à 140 millions de tonnes équivalent de dioxyde de carbone » [GRENELLE, 2010]. L'ajout de la date de référence de 1990 en tant que deuxième évolution majeure dans la définition du facteur 4 permet ici la caractérisation d'un objectif absolu au niveau du territoire français à 140 Mt_{eq}CO₂ à l'horizon 2050.

L'évolution successive du facteur 4 entre sa première mouture en 2004 et la dernière en 2009 a permis une clarification des objectifs et une prise en compte de l'ensemble des GES et de leurs limitations par rapport à 1990 (Encart 3). En additionnant l'ensemble des informations contenues dans les différents plans et lois, le facteur 4 et ses répercussions directes peuvent être représentés par la Figure 16.

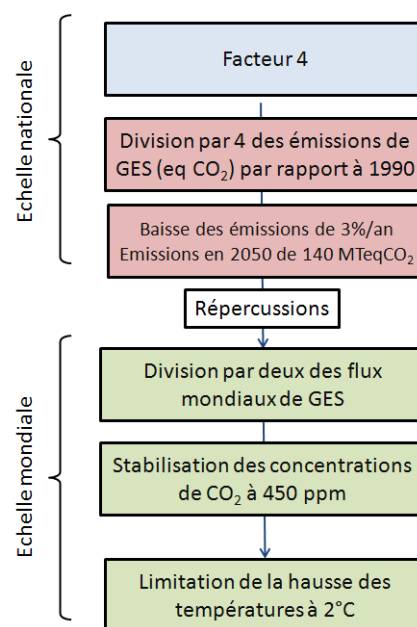


Figure 16 : Le facteur 4 climatique en 2009 et ses répercussions directes.

Encart 3 : Le facteur 4 et le quatrième rapport du GIEC.

Si le facteur 4, à la fin des années 2000, présente des objectifs clairs et ambitieux, il faut remarquer la relative déconnection existante entre une réduction mondiale des GES exprimée en équivalent CO₂ et une stabilisation des concentrations de CO₂ à 450 ppm. En effet, deux questions peuvent être posées : la stabilisation des concentrations de CO₂ à 450 ppm permettrait-elle en prenant en compte l'influence des autres GES, de limiter l'augmentation de température à 2°C ? et si non quelle serait la réduction nécessaire des émissions mondiales ? Le quatrième rapport du GIEC, par l'élaboration de nouveaux scénarii apportent quelques éléments de

réponse. Ces scénarii réactualisent les données du troisième rapport (TRE) du GIEC en incorporant dans les simulations l'ensemble des GES. Les résultats proposés montrent qu'une stabilisation des concentrations de CO₂ en dessous de 450 ppm conduirait au vu de l'influence des autres GES à une augmentation de la température entre 2,4 et 2,8°C. Les 2°C ne pourraient alors être obtenus que par une réduction de 80% des émissions annuelles en 2050 (facteur 4 à 5 au niveau mondial) ce qui conduirait à envisager un facteur 10 au niveau national.

Bien que l'objectif du facteur 4 appliqué aux questions climatiques (Facteur 4 climatique) soit régulièrement affiché en tant qu'objectif prioritaire, comme en témoignent les plans successifs (Plan Climat, Loi POPE, Grenelle, ...), les textes de lois européens et nationaux ne fixent que des objectifs globaux de diminution de GES. Or, si la définition de l'objectif du facteur 4 au travers d'articles de textes législatifs constitue une avancée ainsi qu'une réelle prise de conscience des politiques, elle ne peut conduire seule à atteindre l'objectif escompté. Des actions fortes et ciblées doivent être menées sur l'ensemble des secteurs émetteurs de GES au niveau national. Les plans énoncés ci-dessus s'attardent ainsi à définir des plans d'actions par secteur émetteur en ciblant particulièrement ceux dont le poids ou la « facilité » en font des candidats de choix pour atteindre le facteur 4 climatique. Un des secteurs les plus emblématiques est celui du bâtiment qui représente plus d'un cinquième des émissions nationales, et dont les marges de manœuvre notamment dans la rénovation, présentent la double particularité de générer de l'activité économique et d'améliorer le confort et la situation sociale des habitants.

3.4. L'application du facteur 4 climatique aux bâtiments

3.4.1. Pourquoi le bâtiment ?

En quoi le secteur du bâtiment plus que tout autre a-t-il la capacité de répondre (en partie) à l'objectif du facteur 4 climatique ? L'atténuation des émissions de GES au niveau mondial ne peut passer que par des actions ciblées sur l'ensemble des secteurs émetteurs. Deux secteurs ressortent du lot de par l'évolution de leurs émissions depuis les années 1990 : le transport et le résidentiel-tertiaire. En France, le transport était en 2008 le plus gros émetteur de GES (eqCO₂) contribuant à 25% des émissions nationales et accusant une augmentation de 13,5% par rapport à 1990. Le bâtiment (résidentiel-tertiaire) est quant à lui, selon que l'on observe les émissions de CO₂ ou les GES dans leur ensemble, positionné à la seconde ou quatrième place des secteurs les plus émetteurs (Figure 17).

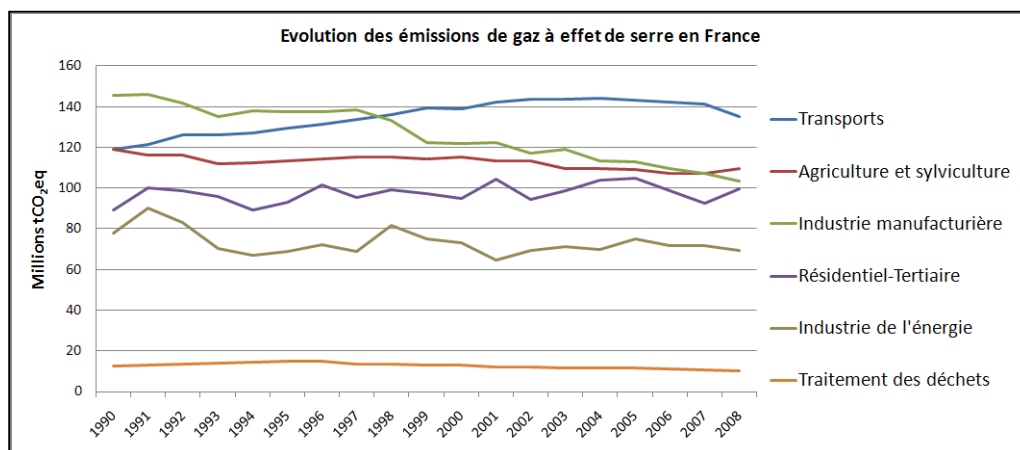


Figure 17 : Emissions de GES en France par secteur d'activité [CITEPA, 2010].

Tout comme le transport, le bâtiment connaît une augmentation de ses émissions depuis 20 ans (+ 11,4% entre 1990 et 2008) du fait notamment « de l'accroissement du parc bâti, de la surface moyenne des logements, de l'augmentation du confort et de l'apparition de nouveaux besoins contribuant à une forte augmentation de la consommation d'électricité (électroménager, éclairage, bureautique, climatisation, renouvellement d'air, cuisson, séchage) » [PLAN CLIMAT, 2004].

Le bâtiment se démarque néanmoins des autres secteurs, et surtout du transport, par son fort potentiel économique de réduction d'émissions. En effet, les études prospectives du GIEC à l'horizon 2030 montrent que le potentiel d'atténuation économique pour le secteur du bâtiment serait compris entre 5,3 et 6 Gt_{eq}CO₂/an pour un investissement inférieur à 100 \$ E-U/t_{eq}CO₂ (Figure 18).

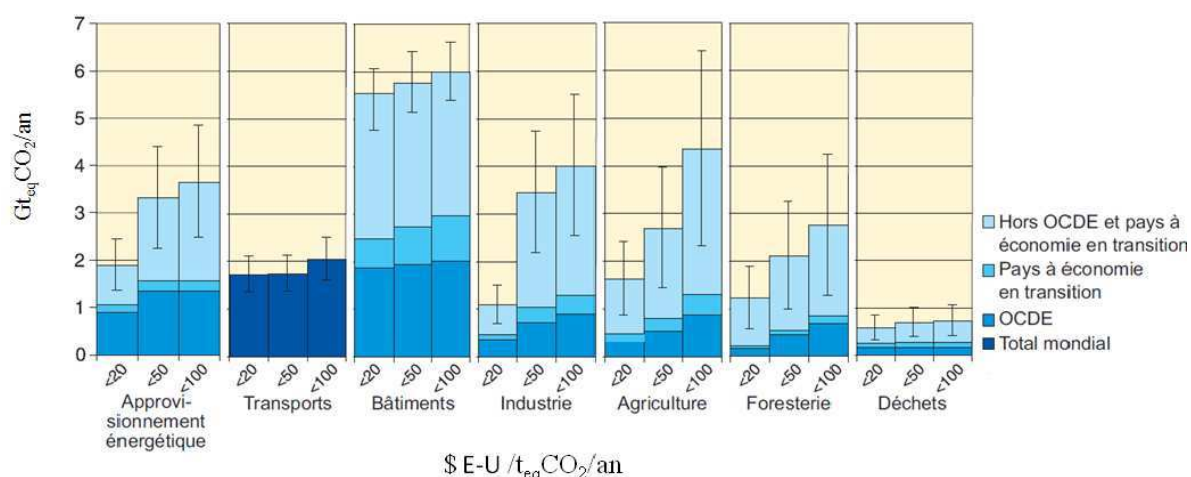


Figure 18 : Potentiel économique d'atténuation mondiale en 2030 selon les études ascendantes du GIEC. [GIEC, 2007]

Ce potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre dans le secteur du bâtiment est lié à plusieurs facteurs.

- Premièrement, de fortes réductions des consommations énergétiques, et des émissions de gaz à effet de serre associées, peuvent être espérées d'une amélioration technique des bâtiments (isolation de l'enveloppe, optimisation des usages, etc.). Ces améliorations ne semblent pas nécessiter de remise en cause profonde des comportements et organisations sociales et pourraient, par la mise en place d'un programme ambitieux de la qualité et des performances du bâti, générer de l'activité économique [GRENELLE, 2008]. En effet, selon de nombreux experts, l'efficacité énergétique dans le bâtiment pourrait permettre la création de centaines de milliers d'emplois dans les 20 prochaines années, permettant une redynamisation de ce secteur [SIDLER, 2003].
- Deuxièmement, et contrairement à des secteurs tels que l'agriculture (émetteur de méthane et protoxyde d'azote) et l'industrie (émettrice de divers gaz à effet de serre dont certains ont des pouvoirs de réchauffement global très élevés), les principales sources de gaz à effet de serre du secteur du bâtiment sont liées aux consommations énergétiques (et, dans une moindre mesure, aux fuites d'hydro-fluoro-carbones (HFC) présentes dans les installations de réfrigération et autres pompes à chaleur).

En France, le résidentiel-tertiaire est ainsi le premier consommateur d'énergie avec plus de 63,3 Mtep soit plus de 40 % de l'énergie finale [MEEDDEM, 2007]. Contrairement au transport consommateur d'une énergie unique (le pétrole sous la forme des supercarburants et du diesel), le bâtiment présente une mixité énergétique importante (Figure 19). Cette mixité augmente les possibilités d'atténuation d'un facteur 4 des émissions dues à la consommation d'énergie dans le bâtiment en permettant le remplacement des énergies les plus émettrices (Fioul par exemple). C'est pourquoi, contrairement au transport, le bâtiment présente deux voies de réduction des émissions de GES : la réduction des consommations d'énergie et/ou une modification du mix énergétique utilisé. La question d'une modification du mix énergétique est principalement abordée par les partisans de l'énergie nucléaire ainsi que par certains fournisseurs d'énergie. Cependant, si cette énergie présente certains avantages en termes d'émissions de CO₂ d'autres types d'impacts environnementaux liés notamment à la gestion des déchets ou encore aux risques d'accident majeur doivent être envisagés et constituent une limite au développement de cette source d'énergie [MARIGNAC et al, 2008].

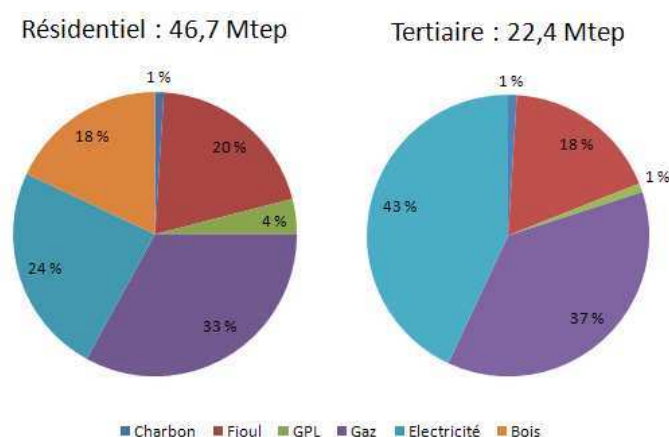


Figure 19 : Répartition des consommations du secteur résidentiel-tertiaire par type d'énergie.
[MEEDDEM, 2007]

C'est donc ici au travers de la question énergétique qu'est envisagée la réduction des émissions de GES, et donc à plus longue échéance le facteur 4 climatique. De fait, aucun objectif n'est sectorisé en France pour les émissions de GES. Seul l'objectif énergétique est mentionné dans les engagements sectoriels et particulièrement dans le bâtiment. Deux niveaux se distinguent alors :

- Un objectif national, au niveau macro-économique : le facteur 4 climatique avec un objectif en $t_{eq}CO_2$ ou $t CO_2$
- Des objectifs sectoriels, au niveau micro-économique : le facteur 4 énergétique avec un objectif selon les secteurs en tep, ou kWh_{ep} .

Le facteur 4 est un concept fractal pouvant être modifié selon les niveaux d'application, les secteurs et les objectifs sur lesquels on souhaite se focaliser. (**hypothèse 1**)

3.4.2. Le bâtiment et le facteur 4 énergétique.

Le facteur 4 climatique n'a pas été décliné au secteur du bâtiment sous sa forme originale c'est-à-dire en termes d'émissions de CO_2 . En effet, alors que les émissions par rapport à 1990 de ce secteur étaient connues, il aurait été aisé de définir, via une arithmétique calqué sur celle utilisée pour le facteur 4 climatique, un quota d'émission pour le secteur du bâtiment. Ainsi, l'atteinte du facteur 4 climatique dans le domaine du bâtiment (résidentiel) en France aurait pu consister à passer en moyenne d'une émission de $35 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2/\text{an}$ (Moyenne d'émission des logements français pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire [GRENELLE, 2008]) à moins de $9 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2/\text{an}$. C'est d'ailleurs sous cette définition que le programme d'action vers un facteur 4 pour la réhabilitation des logements sociaux en Europe l'avait défini en 2007, le facteur 4 signifiant pour eux « diviser par 4 les émissions de CO_2 d'un bâtiment par des travaux de réhabilitation » [IEEA, 2007].

Le facteur 4 s'est toutefois traduit, dans les discussions du groupe de travail du Grenelle consacré au bâtiment par la diminution de la consommation d'énergie du parc existant de 240 kWh_{ep}/m²/an (Moyenne de consommation des logements français pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire [GRENELLE, 2008]) à 60 kWh_{ep}/m²/an. En effet, le « sous-secteur » de la rénovation est considéré par de nombreux acteurs du bâtiment comme le gisement d'économie d'énergie le plus important [SIDLER, 2003]. De fait, dans les prochaines 40 années, avec un taux de renouvellement inférieur à 0,2 % et un taux de constructions neuves annuelles de 0,9 %, le parc existant représentera encore, en 2050, 62 % du parc immobilier [CARASSUS, 2009]. Ainsi, dans ce secteur, au-delà d'une diminution des émissions, « le *“facteur 4”* signifie modifier sensiblement nos modes de consommation et de production, tout en augmentant fortement notre efficacité énergétique... » [CIAD, 2010]. Cette modification de la définition originelle, loin d'être illogique, peut s'expliquer par plusieurs points :

- Tout d'abord et comme nous l'avons vu, la consommation d'énergie est le principal contributeur aux émissions de GES. C'est pourquoi, en posant une hypothèse de linéarité entre consommations d'énergie et émissions de GES, une baisse de X % du premier entraînerait une diminution équivalente du second (Encart 4).

Encart 4 : L'hypothèse de linéarité.

L'hypothèse de linéarité dont nous parlons ici sous-entend que le ratio $\text{eqCO}_2/\text{kWh}_{\text{ep}}$ du mix énergétique dans le secteur du bâtiment soit identique en 2050 et à l'instant t choisi comme référence. Si ce ratio change, l'hypothèse de linéarité n'est plus garantie, remettant alors en cause la relation entre facteur 4 énergétique et facteur 4 climatique (Cf. 4.).

- Deuxièmement, au niveau micro-économique, les acteurs s'approprient plus facilement un objectif de réduction de leurs consommations énergétiques (consommations directement reliées aux aspects économiques) qu'un objectif d'émissions de GES plus intangible. De plus, la quantification des consommations et éventuelles réductions d'énergie peuvent directement être obtenues par des mesures sur sites, contrairement aux émissions demandant des facteurs de conversions variables selon le type d'énergie.
- Troisièmement, le fait de décliner par secteur le facteur 4 climatique au travers de son équivalent énergétique peut s'expliquer par la capacité de ce dernier à répercuter des effets bénéfiques au-delà des simples émissions de CO₂
- Enfin, elle permet d'éviter une orientation du mix énergétique vers le tout électrique et des problèmes qui y sont liés (perte énergétique imputable à la transformation et au transport, gestion « difficile » des « pointes électriques », ...)

En effet, le facteur 4 énergétique permet, par son application, de répondre aux objectifs de la directive européenne et de la loi POPE, objectifs qui dépassent les aspects climatiques. L'efficacité énergétique, par la baisse de la consommation, garantit une plus grande maîtrise de l'énergie [LOI POPE, 2005] permettant à la France de :

- *contribuer à l'indépendance énergétique nationale et garantir la sécurité d'approvisionnement*
- *assurer un prix compétitif de l'énergie*
- *préserver la santé humaine et l'environnement, en particulier en luttant contre l'aggravation de l'effet de serre*
- *garantir la cohésion sociale et territoriale en assurant l'accès de tous à l'énergie.*

Par sa capacité à répondre à ces objectifs, le facteur 4 énergétique se rapproche de la définition donnée au facteur 4 en 1997, soit un concept touchant les sphères économiques, sociales et environnementales. Prônant en particulier une meilleure productivité des ressources, il associe à l'objectif climatique (facteur 4 climatique) des objectifs énergétiques directement connectés aux enjeux économiques, tout en affichant une capacité à développer la cohésion sociale et territoriale (Figure 20).

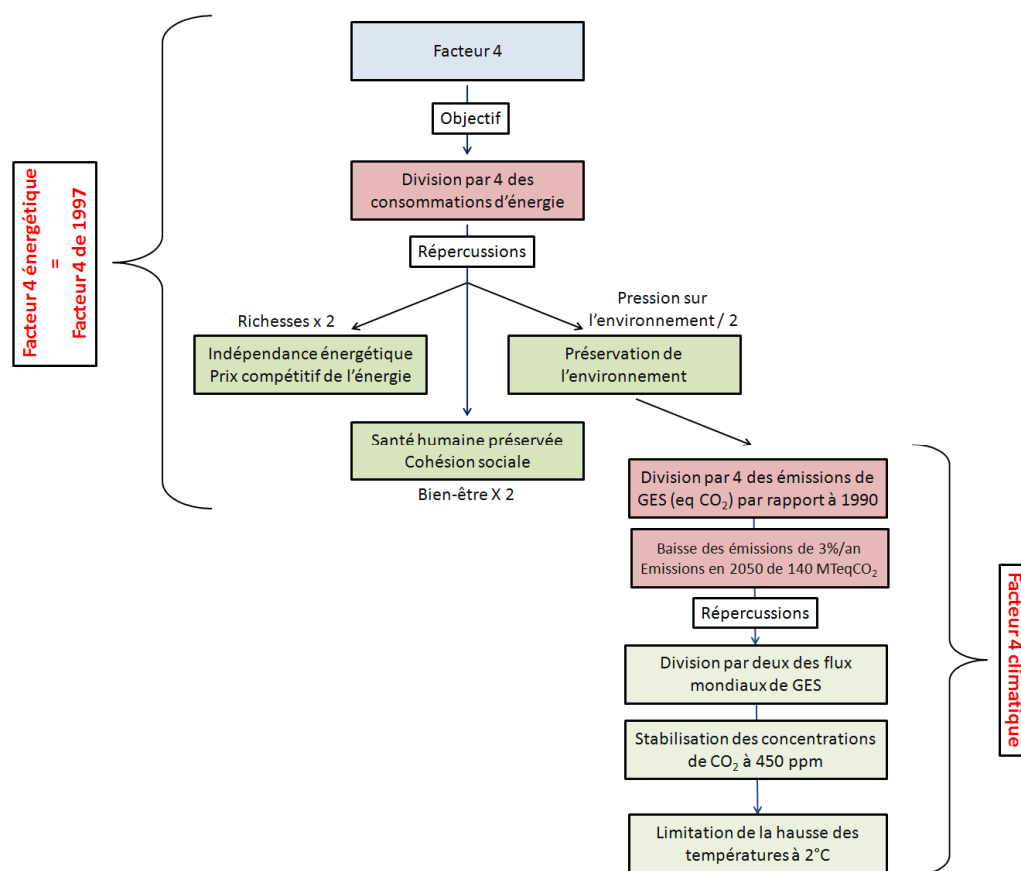


Figure 20 : Le facteur 4 énergétique et ses possibles répercussions. [VILLOT et al, 2010]

Pour atteindre le facteur 4 énergétique dans le secteur du bâtiment et participer à la diminution des GES, des objectifs ciblés à plus ou moins long terme ont été actés dans le Grenelle de l'environnement. Ainsi à partir de 2012, l'ensemble des constructions neuves devront présenter une consommation d'énergie primaire inférieure en moyenne à 50 kWh/m²/an (pour les postes de chauffage, de refroidissement, d'éclairage, de production d'eau chaude sanitaire et des auxiliaires)⁸. Ce niveau sera par la suite abaissé à l'horizon 2020, les bâtiments neufs devront alors avoir une consommation d'énergie primaire inférieure à leur production annuelle par les énergies renouvelables (bâtiment à énergie positive). Pour les bâtiments existants, « *L'Etat se fixe comme objectif de réduire les consommations d'énergie du parc des bâtiments existants d'au moins 38 % d'ici à 2020. Pour ce faire la rénovation complète de 400.000 logements devra avoir lieu à partir de 2013* » [GRENELLE, 2010]. Dans cette optique, les logements sociaux sont particulièrement visés. De fait, les bailleurs sociaux font partie des acteurs les plus contraints par le Grenelle en termes d'objectifs. Ainsi, par l'article 5 du Grenelle de l'environnement, « *l'Etat se fixe comme objectif la rénovation de l'ensemble du parc de logements sociaux. A cet effet, pour commencer, 800 000 logements sociaux dont la consommation d'énergie est supérieure à 230 kilowattheures d'énergie primaire par mètre carré et par an feront l'objet de travaux avant 2020 (Tableau 5), afin de ramener leur consommation annuelle à des valeurs inférieures à 150 kilowattheures d'énergie primaire par mètre carré. Ces travaux concerneront en particulier 180 000 logements sociaux situés dans des zones définies par l'article 6 de la loi n° 2003-710 du 1er août 2003 d'orientation et de programmation pour la ville et la rénovation urbaine. Pour définir les priorités du programme, il sera tenu compte du niveau de charges de chauffage payées par les locataires, du niveau de la consommation annuelle et de l'importance des économies envisagées* » [GRENELLE, 2010] (Encart 5).

Tableau 5 : Nombre de logements sociaux à rénover

Années	2009	2010	2011 à 2020
Logements sociaux à rénover	40 000	60 000	70 000 par an

Encart 5 : Premier bilan des objectifs du grenelle dans les logements sociaux.

Le bilan national de l'Eco prêt pour les logements sociaux au 30/10/2009 indiquait 30.000 rénovations. Si l'effort engagé reste conséquent, deux points sont à mettre en lumière. Premièrement, les 30.000 rénovations représentent des dossiers d'engagement et non des réalisations. Deuxièmement, l'objectif n'est atteint qu'à hauteur de 75 % pour l'année 2009 ce qui sous-entend un report des actions non réalisées pour les années suivantes.

⁸ Arrêté du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments.

Au niveau de l'Etat, et dans une optique d'exemplarité, tout les bâtiments publics seront soumis à des audits énergétiques afin d'engager des travaux de rénovations. A terme, ces rénovations visent à réduire de 40% les consommations d'énergie et de plus de 50% les émissions de GES de ces bâtiments.

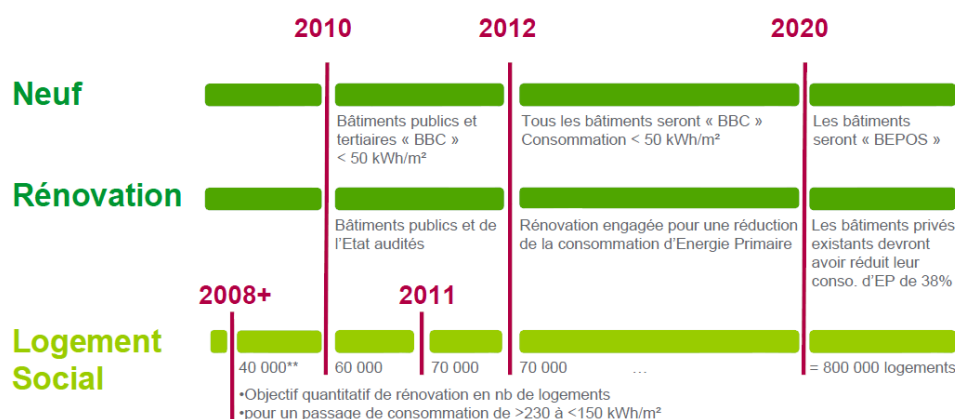


Figure 21 : Chronologie des obligations imposées par le Grenelle de l'environnement dans le bâtiment.
[WAREMBOURG, 2010]

L'objectif du facteur 4 énergétique dans le bâtiment semble largement amorcé dans la réalité ou tout du moins dans les textes. Malgré tout, et bien que des objectifs à court terme soient définis (2012, 2020), les zones d'ombres entourant l'objectif final en 2020 et 2050 restent nombreuses. En effet, comme l'objectif du facteur 4 climatique en son temps, aucun rapport ou texte réglementaire définit officiellement l'objectif énergétique à long terme. Une vision partagée de ce dernier ainsi qu'un éclairage sur ce qu'il recouvre vraiment s'avère nécessaire. Nécessité d'autant plus grande qu'une mauvaise compréhension ou application du facteur 4 énergétique entraînerait inmanquablement des répercussions sur son homonyme axé sur les émissions de GES.

4. Facteur 4 énergétique VS climatique.

« Diviser les émissions de gaz à effet de serre par 4 d'ici 2050, c'est d'abord diviser toutes les consommations d'énergie par 4 » [SIDLER, 2003]. Si cette affirmation semble logique, la complémentarité entre le facteur 4 énergétique et climatique bien qu'évidente n'est pas garantie actuellement au travers des textes de lois. En effet, le passage d'une échelle macro à une échelle micro a nécessité un changement des objectifs qui alors ne se garantissent plus forcément. Plusieurs points confirment cela :

- Le premier point concerne l'hypothèse de linéarité consentie entre consommation d'énergie et émissions de GES. Comme précisée précédemment, chaque énergie émet

par kWh produit et par type d'usage, une quantité X de gaz à effet de serre (par exemple, pour le chauffage des habitations, la consommation d'un kWh d'électricité entraînera l'émission de 180 kg_{eq}CO₂ contre 50 pour l'énergie bois [ADEME, 2007]). De ce fait, pour un mix énergétique donné à une époque donnée, une correspondance en tonne équivalent CO₂ peut être calculée. Cette modification de la teneur en carbone des consommations d'énergie a la capacité d'influencer les émissions totales de GES sans qu'aucune variation de la consommation d'énergie ne soit utile. Une étude prospective sur l'habitat, analysant la réduction des émissions de CO₂ liées au confort thermique dans les bâtiments en 2050 démontre ce phénomène. Ainsi, selon l'énergie privilégiée, une division entre 2,5 et 5,1 des consommations d'énergie entraînerait une division comprise entre 2,5 et 16,3 des émissions de GES notamment par l'utilisation d'énergies moins carbonées [TRAISNEL et al, 2010]. Si le fait de jouer sur la teneur en carbone des énergies pour atteindre le facteur 4 est ici avantageux, la raréfaction de certaines ressources notamment fossiles pourrait changer la donne. En effet, les ressources non conventionnelles présentent une teneur en carbone de 2 à presque 10 fois supérieure aux ressources conventionnelles (exemple pris du pétrole : teneur en carbone des sources conventionnelles : 4 à 6 kg_{eq}C_{carbone}/MJ_{ou}le ; sources non-conventionnelles : 7,1 à 50 kg_{eq}C/MJ [VERBRUGGEN et al, 2010]). Par conséquent, les émissions dans le secteur du bâtiment pourraient augmenter alors même que la consommation diminuerait.

- Le deuxième point à prendre en compte concerne la définition même de l'objectif du facteur 4 énergétique. En effet, l'objectif de performance énergétique dans le bâtiment existant, bien qu'évoqué à l'horizon 2050, n'est réellement présent dans aucun texte réglementaire. Les objectifs de performance notamment dans le Grenelle ne sont mentionnés au mieux qu'à une échéance de 10 ans (2020), cet objectif restant des plus confus. Ainsi, parle-t-on d'un objectif relatif ou absolu ? Les 38% de réduction de la consommation d'énergie du parc existant ne précisent aucunement ce point. D'ailleurs, la consommation et l'année de référence à partir desquelles l'objectif est basé ne sont pas incluses. Or, c'est bien la consommation d'énergie totale du secteur du bâtiment que l'on souhaite diminuer. Ainsi, le choix d'un indicateur absolu semble s'imposer. Malgré tout, il semble, qu'un objectif en valeur relative ait été privilégié. De nombreux acteurs citent une réduction des consommations d'énergie par surface unitaire de 1 m² dans le bâti ancien et toutes les obligations de performance sont données en valeur relative pour les bâtiments neufs (50kWh_{ep}/m²/an en 2012). De 240

kWh/m²/an (Chauffage + ECS⁹) [SIDLER, 2003], le bâtiment existant devrait atteindre en moyenne entre 50 et 60 kWh/m²/an en 2050 soit en 2020 (en appliquant les -38%) une consommation relative proche de 150 kWh/m²/an. Cette valeur correspond à celle visée par le Grenelle pour les logements sociaux à l'horizon 2020 sous réserve que les -38% fassent référence à des consommations d'énergie primaire et non finale. Cependant, l'utilisation d'un indicateur relatif par m² pose problème. En effet, en 2020, du fait de la construction de nouveaux bâtiments, le parc de bâtiment sera supérieur en volume et en superficie à celui de 2010. Cette augmentation du nombre de logements (moins énergivores) et de leur superficie entraînera une réduction fictive des consommations du secteur et ce même si aucune action n'est menée sur le parc existant.

- Aux différents points présentés précédemment, s'ajoute l'absence de clarté quant au parc de bâtiments pris en compte dans l'objectif. L'Etat semble se fixer l'objectif de moins 38% sur l'ensemble du parc de bâtiments ce qui sous-entend le parc résidentiel et tertiaire, alors que le taux de rénovations ciblé (400.000 par an à partir de 2013) inclut uniquement les logements, et donc le résidentiel. En fonction du choix du parc de bâtiments, les conséquences sur les consommations d'énergie seront importantes. Une baisse de 38 % des consommations par rapport à l'année 2008 entraînant une économie de 23 Mtep pour l'ensemble des bâtiments contre 16 Mtep pour le seul résidentiel.
- De plus, pour que l'objectif soit atteint, l'ensemble des postes consommateurs d'énergie devrait être pris en compte dans l'objectif des -38%. Or aujourd'hui, la dernière réglementation thermique devant être effective à partir de 2012 n'inclut pas les consommations d'énergie spécifiques c'est-à-dire les consommations imputables à l'électroménager et à la cuisson. **De même l'objectif de division par 4 dans le secteur du bâti existant est actuellement axé sur les seules consommations de chauffage et d'ECS.**
- Enfin, pour être sûr d'atteindre une moyenne de 60 kWh_{ep}/m²/an en 2050, le niveau de performance d'un bâtiment devant être renouvelé devrait, à l'instar des bâtiments neufs, être fixé. En effet, comment doit être retranscrit, dans chaque projet de rénovation, l'objectif du facteur 4 ? Doit-il consister à diviser par 4 la consommation initiale d'un bâtiment ou atteindre le niveau moyen ? Ainsi, un bâtiment consommant

⁹ ECS = Eau Chaude Sanitaire

400 kWh_{ep}/m²/an devra-t-il atteindre une performance de 100 kWh (division par 4) ou de 60 (division par plus de 6) ?

Le changement de l'objectif du facteur 4 (climatique → énergétique) et ses imprécisions encore trop nombreuses ne garantissent pas la division par 4 des émissions de GES. (**hypothèse 2**)

Rendre fractal le concept de facteur 4 climatique au secteur du bâtiment en l'appliquant aux aspects énergétiques semble donc rencontrer de nombreuses difficultés d'autant plus qu'aucune définition n'est encore partagée. Bien qu'il puisse répondre en théorie aux enjeux climatiques, il gagnerait à voir sa définition être précisée. Ainsi, en complément des objectifs relatifs, un objectif énergétique absolu de diminution de l'ensemble des consommations du secteur du bâtiment par rapport à une date donnée semble nécessaire. Cet objectif absolu gagnerait à être décliné en termes d'émission de CO₂ afin d'incorporer les possibles effets d'une variation de la teneur en carbone des énergies utilisées dans le bâtiment et de re-corréler le facteur 4 énergétique au facteur 4 climatique. Enfin, pour guider les maîtres d'ouvrages, un niveau de performance minimum des projets de rénovation, compatible avec l'objectif moyen en 2050 pourrait être précisé. L'idée d'instaurer un plafond d'émissions de CO₂ dans les bâtiments est un projet défendu par les députés du Nord et de la Haute-Savoie, Christian Bataille et Claude Birraux. Ces derniers souhaitent voir incorporé à partir de 2012 aux performances des bâtiments neufs, un quota d'émissions de CO₂ compris en 5 et 8 kg/m²/an [BATAILLE et al, 2009].

Conclusion : Le facteur 4 entre question climatique et énergétique.

La raréfaction des ressources fossiles et énergétiques couplée à l'émergence de nouvelles problématiques environnementales (changement climatique entre autres) ont conduit depuis plusieurs décennies les responsables gouvernementaux à orienter leur développement vers plus de durabilité. Si les objectifs initiaux évoqués à Rio ou Kyoto semblaient ambitieux, les pressions environnementales grandissantes ont conduit à élaborer des plans d'actions visant des objectifs à plus long terme, et notamment à l'horizon 2050. Ainsi, c'est au cours de ces dernières années que le concept de facteur 4 a connu un essor et des évolutions importantes. Visant initialement des objectifs d'efficacité des modes de production, il s'est peu à peu modifié au début du XXI^{ème} siècle pour se focaliser sur les émissions de gaz à effet de serre. De nos jours, le facteur 4, selon l'échelle d'étude à laquelle on se place, peut faire référence à deux ensembles différents mais liés entre eux (Hypothèse 1). Le premier facteur 4 dit « climatique », pour les pays industrialisés (échelle macro-économique), a été introduit pour limiter les émissions de gaz à effet de serre (GES) à venir au cours des prochaines décennies. Il consiste à diviser par 4 les émissions de gaz à effet de serre (t_{eq}CO₂) des pays « développés » afin notamment de stabiliser au niveau mondial

l'augmentation de température à +2°C. Cependant, un tel engagement au niveau macro-économique ne peut être obtenu que par des actions ciblées sur les secteurs les plus émetteurs au niveau micro-économique. Ce constat s'est traduit par l'introduction d'un second concept : le facteur 4 énergétique. Le facteur 4 énergétique est une application au niveau local du facteur 4 climatique. Etant donné que les consommations d'énergie émettent des GES, leur limitation provoquerait en théorie une diminution proportionnelle de ces émissions. Le bâtiment, en tant que consommateur d'énergie et émetteur important de GES est l'un des secteurs qui a connu le plus grand engouement et qui le premier a vu des objectifs énergétiques être définis. Malgré tout, rendre fractal le concept de facteur 4 climatique pour le transposer d'une échelle macro à une échelle micro a nécessité de nombreux changements des objectifs impactant la capacité du facteur 4 énergétique à garantir une diminution par 4 des émissions de GES de ce secteur (hypothèse 2). Préciser les objectifs du facteur 4 énergétique pour garantir une réduction des émissions de gaz à effet de serre semble donc primordial. « L'enjeu qu'il s'agit de développer dans le secteur du bâtiment est nouveau (moins gaspiller d'énergie) [ZELEM, 2010] » et constitue un challenge sans précédent. De tels objectifs nécessitent au-delà de leur clarification de rénover en moyenne 700 000 logements par an [ASSOCIATION négaWatt, 2006]. Or, l'application de ces objectifs se heurte à la complexité du secteur du bâtiment. Cette complexité est due à la diversité du bâti mais aussi et surtout aux nombreux acteurs qu'il est nécessaire de mobiliser. En effet, en première approximation, le bâtiment ne pourrait être perçu que sous l'angle de la technique, un ensemble d'éléments et de systèmes pouvant être régulés par d'autres éléments ou systèmes plus aboutis. Bien que les technologies soient une part importante de la réponse au problème, elles n'en constituent pas moins un outil, dont le bon fonctionnement est dépendant de l'utilisation que l'on en fait. Le « on » ici employé fait référence aux systèmes d'acteurs intervenant dans un projet de rénovation. Notre objectif dans les prochains chapitres sera donc d'observer et d'analyser de manière critique les jeux d'acteurs intervenant dans le processus de maîtrise de la demande énergétique, leur appropriation du projet, leur compréhension des enjeux mais surtout les freins réduisant la portée des actions entreprises et impactant l'objectif final visé en 2050.

Chapitre 2.

Des objectifs ambitieux face à la complexité d'un système multi-acteurs.

Qu'il s'agisse de questions climatiques ou encore d'aspects énergétiques, le concept de facteur 4 semble aujourd'hui être présenté comme l'une des réponses aux défis écologiques du XXI^{ème} siècle. Le facteur 4 fait donc l'objet, depuis plusieurs décennies, d'une appropriation et d'une transposition à différentes échelles, ayant conduit à définir deux objectifs distincts : le facteur 4 climatique et énergétique (chapitre 1). Cette transposition des questions climatiques aux questions énergétiques est particulièrement vraie dans le secteur du bâtiment qui au travers de lois et plans nationaux s'est vu attribuer des objectifs quantitatifs. Ces objectifs ciblant les bâtiments neufs comme existants, et bien que représentant un pas vers une réduction des consommations ne semblent cependant pas pouvoir être garants d'une division par 4 des émissions de GES. Toutefois, si une meilleure définition des objectifs est à souhaiter dans le bâtiment, les acteurs de ce secteur semblent orienter leur attention vers une toute autre problématique. De fait, le challenge posé au monde du bâtiment même à l'horizon 2020 est unique et sans précédent. Ainsi, savoir si l'objectif du facteur 4 énergétique est réaliste, suffisant et/ou garant d'une réduction équivalente des GES apparaît secondaire pour les acteurs du bâtiment en France. Ces derniers axant leurs réflexions non pas sur la définition de l'objectif en lui-même mais sur la façon et les actions nécessaires pour la réussite de ce défi.

Ce chapitre se propose donc, dans un premier temps, d'analyser au travers de scénarii prospectifs (MIES, CLIP, ...), de démarches (Démarche Négawatt, ...) et de l'équation $I=PAT$, mais aussi par l'étude des réglementations thermiques, labels et solutions techniques, les principales actions et stratégies proposées en vue des objectifs énergétiques et climatiques dans le bâtiment. Ainsi, en regroupant les différentes informations, nous tenterons de montrer, et cela constituera notre troisième hypothèse, que le facteur 4 dans le bâtiment est atteignable par différents chemins ayant une efficacité différente selon les actions qu'ils considèrent. Dans un second temps, en étudiant les spécificités du bâtiment, nous postulons que le choix d'un chemin plutôt qu'un autre, et donc les actions à engager, sont conditionnées par la complexité de ce secteur mais aussi et surtout par la diversité de ses acteurs (hypothèse 4).

Troisième hypothèse

Différents chemins permettent d'atteindre le facteur 4. Ces chemins étant plus ou moins efficaces selon le choix des actions engagées et leur complémentarité.



Quatrième hypothèse

Le choix de ces actions et donc des chemins à emprunter pour atteindre le facteur 4 (hypothèse 3) sont conditionnés par la complexité de ce secteur et la multiplicité de ses acteurs.

1. Comment réduire les impacts du secteur du bâtiment ?

Réduire les impacts des activités anthropiques sur le climat et l'environnement nécessite de connaître les facteurs qui les engendrent et les intensifient. La connaissance de ces facteurs permet d'identifier les actions à mener dans les secteurs émetteurs, et principalement dans le bâtiment.

1.1. Ce que nous dit "l'équation maître" : I=PAT

Quels sont les facteurs contribuant aux impacts environnementaux du XXI^{ème} siècle ? Cette question fut très tôt débattue notamment aux Etats-Unis par Barry Commoner. Au début des années 1970, ce biologiste américain arriva à la conclusion générale que l'utilisation des technologies ayant accompagné le développement des USA depuis 1946 avait eu un grand impact sur l'environnement [COMMONER, 1972]. La technologie, facteur majoritaire de la crise environnementale, fut donc mise en avant. Cependant, cette dominance des aspects technologiques dans les impacts fut très vite controversée, principalement par Paul Ehrlich et John Holdren, ces derniers arguant que la technologie ne pouvait à elle seule tout expliquer, et que la pression environnementale due à l'augmentation de la population utilisant ces technologies constituait un élément déterminant des impacts environnementaux. Les divergences et convergences de ces différents points de vue conduisirent à des débats mouvementés entre les deux paradigmes. Ces débats finirent par aboutir en 1972 lorsque Ehrlich, par l'utilisation d'une équation mathématique (IPAT), conceptualisa les facteurs impactant. Cette équation, qui par la suite fut élevée au rang « d'équation maître » par certains tenants de l'écologie industrielle [HEATON et al, 1991] montra d'une façon simple que l'impact (I) d'une population pouvait être considéré comme le produit de la population (P) sur une zone donnée, de ses besoins (ou niveau de consommation par personne exprimée par la lettre A pour Affluence en anglais) et de l'impact des technologies (T) utilisées pour répondre à ces derniers (Équation 2) [EHRlich et al, 1971].

$$\text{Impact} = \text{Population} \times \text{Affluence} \times \text{Technology}^{10}$$

Équation 2 : Equation IPAT

A travers la formulation de l'équation I=PAT, l'influence respective de chaque facteur sur le résultat est évidente. Cependant, les effets et impacts cumulés de chacun des opérandes ne sont pas additionnels mais multiplicatifs. L'effet multiplicatif implique que les impacts environnementaux ne peuvent en aucun cas être attribués de façon indépendante aux composants P, A ou T de l'équation [YORK et al, 2003]. Par exemple, pour une population P donnée,

¹⁰ L'équation utilisant l'acronyme IPAT fut en premier lieu exploité par Ehrlich et Hordren alors que la première application algébrique fut proposé sur des données par Commoner [COMMONER, 1980]

utilisant une technologie T sur une période de temps définie, une augmentation de A ne signifie pas que les impacts sont imputables uniquement à A [HEATON et al, 1991].

L'équation IPAT fut par la suite adaptée, et ses composantes modifiées ou précisées afin d'inclure des indicateurs plus complexes. Aujourd'hui, des méthodes d'évaluations dont l'empreinte écologique [WACKERNAGEL et al, 1996] basent une partie de leur raisonnement sur cette équation. En effet, les niveaux technologiques, de population ou de besoin, ont fait l'objet d'études afin de déterminer le niveau acceptable des impacts. L'un de ces travaux n'est autre que le facteur 4 présenté par Weizsächer et Lovins dans leur livre : facteur 4. Les auteurs visent deux fois plus de bien-être en consommant deux fois moins de ressources, ce qui exprimé par l'équation IPAT, correspond à atteindre 2 (A) avec seulement 0,5 (T) [CHERTOW, 2001]. La transposition du facteur 4 climatique et énergétique est tout aussi aisée et ces concepts peuvent être représentés dans l'équation IPAT de la façon suivante pour l'objectif absolu et relatif (Équation 3) :

$$Facteur\ 4_{absolu} = \frac{Impact}{4} = \frac{Population \times Affluence \times Technologie}{4}$$

$$Facteur\ 4_{relatif} = \frac{Impact}{4 \times Population} = \frac{Affluence \times Technologie}{4}$$

Équation 3 : Transposition du Facteur 4 dans l'équation IPAT

Ainsi, pour une population et un impact donnés à une période précise (par exemple 1990), une division par 4 de I/P pouvant prendre la forme d'un indicateur en CO₂eq/hab sera obtenue en réduisant le produit A × T par un minimum de 4. Bien entendu, selon les scénarii envisagés, les actions peuvent porter sur une variation identique ou différente des facteurs du produit A × T, cette variation pouvant être pour chaque facteur, et sous certaines conditions, positive (augmentation), négative (division) ou nulle (stagnation). Par conséquent, une division par 4 de A × T pourra être obtenue de différentes manières (Équation 4) :

$$Facteur\ 4_{relatif} = \frac{A}{4} \times T = A \times \frac{T}{4} = 2A \times \frac{T}{8} = \dots$$

Équation 4 : Une équation, plusieurs solutions

L'équation IPAT, bien que simple, constitue un point de départ efficace permettant d'identifier les déterminants des pressions environnementales et les différentes options visant à les réduire [ROCA, 2002]. Ces options ou « chemins » vers le facteur 4 sont abordés et étudiés au travers de démarches et modèles prospectifs, une réduction de A et T dans ces modèles faisant réciproquement référence au concept de sobriété et d'efficacité.

1.2. Ce que nous enseignent les scénarios facteur 4.

De nombreux travaux prospectifs axant leur domaine d'étude sur certains secteurs de l'économie, ont tenté d'aborder les différentes options qui pourraient conduire à une réduction de l'impact des activités anthropiques. D'une façon générale, « *les différents scénarios et exercices de modélisation sur le Facteur 4 existants en France s'appuient sur des modèles représentant les systèmes techniques de manière largement indépendante non seulement du système économique, mais aussi de l'évolution des préférences des consommateurs dans un monde sous contrainte environnementale* [MATHY et al, 2011]. Nous proposons ici de revenir sur trois d'entre eux, dont les propositions convergentes ou divergentes conduisent à mener à une réduction des besoins (A) et/ou des impacts des technologies utilisées (T). Les deux premiers scénarios (scénario négaWatt et de la MIES) fixent leur échelle au niveau national en étudiant plusieurs secteurs de l'économie alors que le dernier scénario étudié (Habitat facteur 4 ou CLIP) axe son étude sur le seul secteur du bâtiment. L'objectif ici n'est pas de présenter en détail les différentes simulations et hypothèses mais plutôt les actions permettant d'atteindre, ou à minima, de se diriger vers le facteur 4¹¹. Ainsi, seuls les grands enseignements de ces scénarios seront abordés, et notamment ceux inhérents au secteur du bâtiment.

1.2.1. Les scénarios de la MIES

La MIES (Mission Interministérielle sur l'Effet de Serre) aujourd'hui regroupée au sein du Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement (MEDDTL) fut l'une des premières à fournir des scénarios prospectifs visant le facteur 4 climatique en France. En 2004, à la suite des rapports du GIEC (2001), une étude menée par Pierre Radanne visant à éclaircir les choix possibles vers le facteur 4 et « *à analyser par grands secteurs émetteurs de gaz à effet de serre, les différents scénarios relatifs à leur consommation énergétique à l'horizon 2050* » a vu le jour [MIES, 2004]. 19 variantes ont été testées et parmi elles, 5 en particulier dont la finalité était l'objectif d'une division par 4 des émissions de CO₂. Dans ces scénarios, le secteur du bâtiment est largement mis en avant. En effet, selon la MIES, devant la forte inertie de ce secteur (taux de renouvellement faible), l'objectif du facteur 4 climatique ne pourra être atteint sans « *un effort massif d'isolation et d'amélioration des équipements thermiques de l'ensemble du parc bâti* ». Pour ce faire, « *les scénarios qui satisfont aux critères du facteur 4 impliquent une consommation tendant vers 50 kWh par mètre cube chauffé* » [MIES, 2004]. De plus, devant la part croissante des consommations d'électricité (cuisson, éclairage, électroménager, bureautique,), et le gaspillage d'énergie dû au système de veille et de l'insuffisance des régulations, la MIES insiste sur la nécessité de progrès

¹¹ Dans les scénarios présentés, le terme facteur 4 fait référence à une division par 4 du CO₂ et non de l'ensemble des GES.

techniques visant une plus grande efficacité des appareils. Ces progrès techniques permettent de réduire par 5 l'augmentation des consommations. L'efficacité du bâti et des systèmes apparaît ici comme primordiale dans les scénarios mais ne constitue qu'un premier pas. De fait, selon la MIES, *« l'efficacité énergétique ne pourra à elle seule limiter le niveau d'émission de ce secteur, et de la France en général qui pour atteindre le facteur 4 devra jouer sur la répartition entre les différentes énergies disponibles à savoir : les combustibles fossiles, le nucléaire et les renouvelables »* [MIES, 2004].

En effet, pour réduire les émissions de CO₂, le développement des sources d'énergies peu ou pas carbonées semble indispensable. Dans cette optique, trois options visant en priorité : un passage massif au chauffage électrique, aux énergies renouvelables thermiques (géothermie, bois-énergie, ...) et à la cogénération sont proposées dans le bâtiment.

Par ces scénarios, la MIES présente les stratégies et chemins possibles vers le facteur 4. Si les variantes sont nombreuses, et qu'au final aucune d'entre elle n'assure au niveau du territoire français une réduction par 4 des émissions de GES (maximum 3,4 et uniquement pour le CO₂), elles s'appuient toutes sur une amélioration de l'efficacité énergétique et un développement des sources d'énergies non carbonées. De ce fait, ces deux actions forment la base de nombreux modèles et prospectives. L'un des plus connus et intégrant les effets d'un changement des comportements à travers les aspects de sobriété est le scénario négaWatt.

1.2.2. Le scénario négaWatt.

Le scénario négaWatt a été développé pour la première fois en 2005 par l'association éponyme¹² avant d'être réactualisé en 2011. Cette association regroupe plus d'une centaine d'experts dont les travaux et centres d'intérêts gravitent autour des problématiques énergétiques (maîtrise de l'énergie et énergie renouvelable). Association travaillant à l'élaboration de propositions innovantes et concrètes, elle est à l'origine de la démarche négaWatt dont les grands principes ont servi à la construction du scénario.

Partant du principe *« qu'il existe une alternative crédible à l'augmentation infinie de nos consommations d'énergie »*, la démarche négaWatt *« invite à poser un regard différent sur l'énergie, en nous interrogeant d'abord sur nos propres besoins, réels ou supposés, puis en cherchant à y répondre le plus efficacement possible et en faisant enfin appel aux sources d'énergie les moins problématiques »*. [ASSOCIATION négaWatt, 2006]. La démarche négaWatt propose donc une approche en trois temps et dans un ordre précis afin de réduire les consommations d'énergie : le premier temps

¹² Le mot « négaWatt » est un néologisme détourné du terme mégawatt. Inventé par Amory Lovins et repris par l'association négaWatt, le terme négawatt signifie « Watt en moins » étant donné que *« l'énergie la moins chère et la moins polluante est celle que l'on ne produit pas, que l'on ne transporte pas, que l'on ne consomme pas ... »*

consiste à supprimer les divers gaspillages énergétiques au niveau de nos comportements et organisations (étape de « sobriété », réduction de A). La deuxième étape vise à optimiser l'utilisation des ressources pour répondre à un besoin donné en utilisant les techniques et méthodes les plus efficaces (« efficacité énergétique »). Enfin, le dernier temps de la démarche tend à privilégier l'utilisation d'énergies renouvelables (Figure 22). L'efficacité énergétique et l'utilisation d'énergies renouvelables permettent la réduction de l'impact de T dans l'équation IPAT.

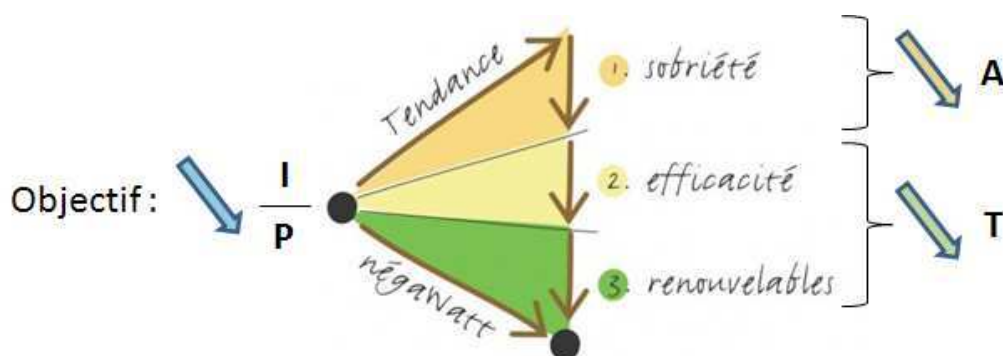


Figure 22 : Les trois étapes de la démarche négaWatt et l'équation IPAT (inspiré de [SALOMON et al, 2005a]).

C'est donc à partir de cette stratégie basée en trois temps que le scénario négaWatt [ASSOCIATION négaWatt, 2011] tente de généraliser la démarche à l'ensemble du territoire français. Ainsi, dans son modèle prospectif, le scénario négaWatt est comparé à un scénario tendanciel (Business as Usual) sur trois grands usages : la chaleur, l'électricité spécifique et la mobilité. En matière de sobriété pour l'électricité et la chaleur, les actions sont axées sur une réduction des gaspillages (utilisation d'éclairage inutile, ...) et des surfaces par habitant. Par la seule sobriété, le scénario négaWatt limite la progression des surfaces chauffées de 24% par rapport au scénario tendanciel. Ces actions, couplées à l'efficacité, se traduisent dans le bâtiment par un vaste programme de réhabilitation du parc résidentiel existant (750000 logements par an) ainsi que du tertiaire (3,5% de la surface par an) permettant à terme (horizon 2050) de rénover la quasi totalité des bâtiments en France. Les actions d'efficacité entraînent un renouvellement des équipements les plus énergivores. Le chauffage électrique à effet joule direct (radiant, convecteur, ...) est principalement visé et remplacé dans le scénario par des appareils à haut rendement utilisant d'autres sources d'énergie. Cette option est ici très différente de celle abordée par la MIES qui prônait le développement du chauffage électrique pour atteindre le facteur 4. En effet, le scénario négaWatt se donne comme objectif de départ la réduction de la production nucléaire jusqu'à sa sortie vers 2035.

L'ensemble des stratégies d'efficacité et de sobriété proposées par le scénario négaWatt entraîne

une réduction de 54% des consommations moyennes de chauffage dans le parc résidentiel-tertiaire ($40 \text{ kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2/\text{an}$ contre 200 en 2006 pour le chauffage¹³) et de 60% (énergie finale) sur l'ensemble des trois usages. L'énergie restante consommée est produite à plus de 90% par les renouvelables (solaire thermique, photovoltaïque, énergie de la mer, ...) ce qui permet une réduction de l'utilisation de l'énergie nucléaire et une amélioration du rendement général du système énergétique français. Au final, le scénario négaWatt proposé en 2011 du à une diminution de A (affluence) et de l'impact de T (technologie) respectivement par une phase de sobriété et d'efficacité (couplé à l'utilisation d'énergie renouvelable) permet une réduction par 16 des émissions de CO_2 par personne (par rapport à 2010) (Figure 23). Le scénario négaWatt, basé sur une réduction des impacts des besoins des sociétés humaines et de leur technologie, permet d'atteindre et même dépasser le facteur 4 climatique. Ce scénario montre donc l'opportunité et l'intérêt de stratégies d'efficacité et de sobriété pour atteindre les objectifs climatiques à l'horizon 2050. Ces objectifs climatiques étant d'autant plus atteignables que le scénario négaWatt n'inclut dans l'efficacité que des techniques et systèmes éprouvés, et donc ne table sur aucun saut technologique.

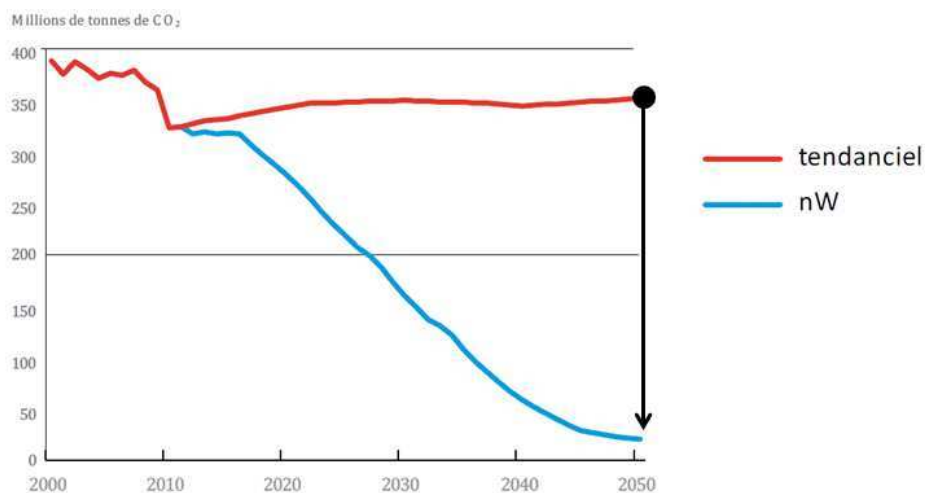


Figure 23 : Emissions de CO_2 par scénario [ASSOCIATION négaWatt, 2011].

Les deux grands scénarios (MIES et négaWatt) présentés ici montrent l'importance d'actions couplées (efficacité, sobriété, énergies renouvelables) pour atteindre le facteur 4 climatique et ce dans différents secteurs dont le bâtiment. Le bâtiment revêt en effet une importance capitale pour la lutte contre l'effet de serre. Le dernier scénario présenté par le Club d'ingénierie prospective et environnement (CLIP) axe son étude sur la réduction d'un facteur 4 des émissions de CO_2 du secteur du bâtiment. Les actions envisagées, dans la droite lignée des scénarios globaux montrent encore une fois la possibilité d'atteindre des objectifs climatiques.

¹³ On notera ici que l'objectif des 40 kWh est quasi identique à celui de le MIES bien que l'unité fonctionnelle utilisée soit différente (m^3 pour la MIES, m^2 pour les négaWatts).

1.2.3. Le scénario du clip.

Le scénario du CLIP et l'étude qui l'accompagne s'inscrivent dans l'objectif du facteur 4 climatique à l'échelle nationale. Contrairement aux deux autres scénarios présentés, l'échelle d'étude est ici axée sur le seul secteur résidentiel français. Ainsi, l'exercice développé par le CLIP a consisté à « identifier différentes trajectoires d'une division par 4 des émissions de dioxyde de carbone dues à la consommation énergétique des résidences principales, pour les deux postes du chauffage et de la production d'eau chaude sanitaire » [TRAISNEL et al, 2010]. Pour ce faire, à l'instar du scénario négaWatt, une stratégie basée en trois temps a été mise en place : la réduction des besoins en chauffage (demande), le recours à des équipements énergétiques plus performants (efficacité), le choix d'énergies moins carbonées (substitution). Les actions touchant la demande sont identiques pour l'ensemble des variantes du scénario, l'objectif étant pour cette étude de « trancher les conditions technologiques (efficacité des systèmes et substitution) les plus favorables au facteur 4 ». Ici la notion de réduction des besoins (demande) est différente des aspects de sobriété évoqués par l'association négaWatt en cela qu'elle ne suppose pas un changement des habitudes mais une amélioration de l'enveloppe du bâti (exemple : isolation des parois opaques tels les murs, planchers bas, ...). La rénovation des bâtiments revêt une importance capitale du fait, encore une fois, du gisement d'économie d'énergie et de la longue durée de vie des bâtiments. Les actions engagées en rénovation (isolation, changement des menuiseries, etc.) permettent d'envisager à terme 60% (facteur 2 à 2,5) d'économie d'énergie utile consommée par l'ensemble des bâtiments. L'objectif en termes de consommation unitaire par m^2 est alors estimé entre 60 et 90 kWh_{eu}/m^2 en moyenne pour les maisons individuelles et entre 42 et 55 kWh_{eu}/m^2 en immeubles collectifs. En revanche, sur l'ensemble du secteur résidentiel, de par un accroissement des surfaces habitables et de la superficie totale du parc de bâtiment, la réduction estimée n'est que de 1,5 en 2050. L'augmentation de la superficie due à la production de nouveaux bâtiments neufs entraîne en effet de nouvelles consommations d'énergie (Encart 6).

Encart 6 : La construction, de nouvelles consommations.

Si la construction de nouvelles habitations est indispensable dans certaines agglomérations où le manque de logements se fait cruellement sentir, elle interfère néanmoins sur les objectifs. De fait, tout bâtiment construit en dehors d'un renouvellement (démolition d'un bâtiment ancien et reconstruction d'un neuf de même superficie) et ce quelle que soit sa performance contribue à de nouvelles consommations d'énergie et donc produit des GES. Ainsi, les actions d'amélioration de la performance énergétique des bâtiments neufs ne contribuent pas à atteindre le facteur 4. Les nouvelles constructions éloignent de l'objectif, et à population constante accentuent les efforts à fournir sur le parc existant. L'ensemble des nouvelles consommations du neuf devant être compensé dans l'ancien par une performance accrue.

En énergie finale, les facteurs de réduction sont accrus du fait d'un meilleur rendement des équipements de chauffage (phase d'efficacité). De fait, les réductions de consommations selon le mix énergétique choisi varient entre 2 et 8,8. Le facteur 8,8 est obtenu par l'utilisation majoritaire de pompe à chaleur (énergie électrique) qui avec un coefficient de performance élevé améliore grandement l'efficacité des systèmes de production de chaleur.

Au niveau des émissions de CO₂, une division de 2,5 à 16 est atteinte en fonction des priorités données à trois sources d'énergie (bois, électricité, gaz) et à leur part de marché dans les bâtis. Cette division des émissions est dans le meilleur des cas supérieur de 2 fois à celle des consommations d'énergie. En conséquence, selon le CLIP, le facteur 4 climatique dans le bâtiment bien qu'obtenu en partie par des actions d'efficacité peut être atteint sans qu'une réduction par 4 des consommations d'énergie (Facteur 4 énergétique) ne soit nécessaire.

L'ensemble des scénarios prospectifs présentés ici, bien que basé sur des hypothèses de cadrage macro-économique différentes montrent des orientations communes. Si de nombreuses variations existent dans les trajectoires et chemins qu'ils empruntent, il est néanmoins possible de dégager 4 enseignements (Tableau 6) :

Tableau 6 : Enseignements communs issus des études prospectives

Enseignement 1	Des stratégies uniques visant soit l'amélioration de l'efficacité énergétique soit un développement des sources d'énergie non carbonées (nucléaire et/ou renouvelable) ne permettent pas à elles seules d'atteindre le facteur 4. Ces deux aspects doivent donc être couplés et constituent « <i>deux incontournables pour envisager la meilleure performance</i> » [MIES, 2004].	MIES, négaWatts, CLIP
Enseignement 2	Un changement des habitudes et comportements quotidiens (étape de sobriété) constitue une troisième voie non négligeable pour l'atteinte du facteur 4.	négaWatts, MIES
Enseignement 3	Les ruptures technologiques bien que non indispensables constituent un plus pouvant faciliter la division par 4 des émissions de carbone.	négaWatts, MIES
Enseignement 4	Le bâtiment et plus précisément le bâti existant est toujours considéré comme l'un des gisements d'économie d'énergie prioritaire.	MIES, négaWatts, CLIP

Les deux premiers enseignements montrent que, quelles que soient les stratégies déployées, ces dernières doivent impérativement intégrer des actions d'efficacité, de substitution d'énergie et de

sobriété. La sobriété est ici synonyme de tempérance et permet par une modification des comportements une réduction de la consommation énergétique. Elle fait référence à ce que certains auteurs appellent l'efficacité de la consommation en cela qu'elle permet une diminution des gaspillages tout en garantissant un niveau d'utilité identique voire supérieur [ALCOTT, 2008]¹⁴. Le troisième enseignement indique les ruptures technologiques comme élément facilitant l'atteinte du facteur 4. Enfin, le quatrième enseignement rappelle que le secteur du bâtiment et notamment de la rénovation, de par son gisement d'économie d'énergie important, doit faire l'objet d'un programme ambitieux. Malgré tout, si la réduction des consommations d'énergie dans ce secteur est abordée par tous les scénarios, le niveau d'exigences en termes de performance à atteindre varie. De fait, selon la MIES et négaWatt, pour atteindre le facteur 4 climatique, une réduction par 4 des consommations d'énergie s'avère indispensable dans le bâtiment. Au contraire, pour le CLIP, le facteur 4 énergétique ne semble pas nécessaire à l'atteinte des objectifs climatiques.

De façon générale, les scénarios prospectifs renseignent sur les grandes orientations permettant la réduction des impacts des activités humaines et l'atteinte des objectifs climatiques. Cependant, *« la complexité des modèles, la diversité de leurs hypothèses et la dispersion de leurs résultats sont susceptibles de rendre inaudibles ou suspects les enseignements potentiels »*. En effet, *« ces derniers apparaissent comme issus de véritables boîtes noires, difficilement appropriables en dehors d'une communauté de gens avertis »* [MATHY et al, 2011]. Pour ces raisons, afin de guider le béotien, et de préciser les actions à mener afin d'atteindre ce fameux facteur 4, de nombreux outils applicables à l'échelle du bâtiment ont vu le jour. Ces outils, réglementaires ou volontaires, portés par différents acteurs, définissent la performance environnementale et énergétique à atteindre de même que les interventions à mener sur le bâti et les systèmes.

2. Les outils vers le facteur 4 dans le bâtiment.

Les outils visant à définir la performance d'un bâti, qu'il soit neuf ou ancien, ont connu un essor important depuis plusieurs années. Si leur légitimité diffère, ces démarches volontaires (Labels) ou réglementaires (Réglementations thermiques), s'attachent toutes à préciser les actions ou moyens à mettre en œuvre afin d'obtenir des bâtiments dont le niveau de consommation sera minimum et la qualité environnementale maximum.

¹⁴ Pour ALCOTT, le terme sobriété ne doit être utilisé que lorsqu'il y a privation. Par exemple, la sobriété consisterait à se passer de voiture pour ses déplacements alors que l'efficacité de la consommation se traduirait par une réduction du nombre de déplacements.

2.1. Les labels du bâtiment.

Les méthodes d'évaluation environnementale des bâtiments font partie des outils ayant connu un essor important depuis le début des années 1990 (Figure 24).

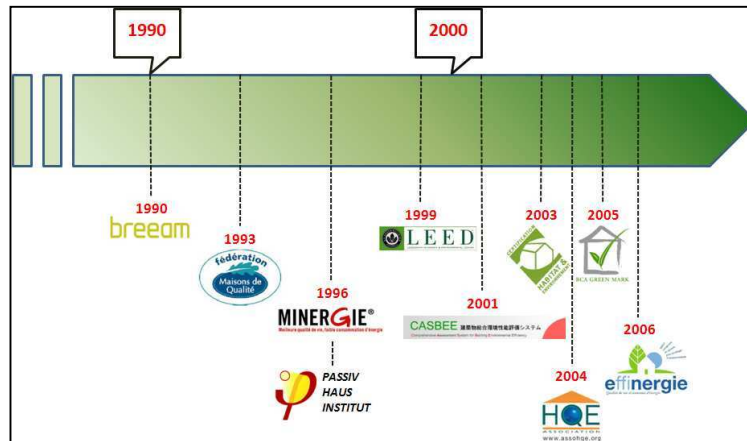


Figure 24 : Echelle chronologique de création de quelques méthodes d'évaluation des bâtiments. [VILLOT et al, 2009]

Ces méthodes peuvent globalement être regroupées en 3 catégories [ABDELGHANI IDRISSE et al, 2004]:

- Les méthodes d'évaluation environnementale de type check-list,
- Les méthodes d'évaluation environnementale par analyse du cycle de vie (ACV),
- Les méthodes d'évaluation par labellisation (labels).

Les labels sont des outils volontaires issus d'initiatives individuelles et non d'une démarche de négociation commune. Portées en majorité par des associations ayant une volonté de standardisation et d'amélioration de la qualité environnementale et énergétique, ces méthodes cherchent à codifier la définition d'un bâti performant. De part la certification qu'elles procurent, elles font partie des outils les plus utilisés dans le secteur du bâtiment et ce d'autant plus que leurs créateurs, adhérents des associations, sont en majorité des acteurs de ce secteur (légitimation par le nombre d'utilisation). Ainsi, nous présenterons dans cette partie, certaines méthodes d'évaluation par labellisation.

Les méthodes d'évaluation par labellisation proposent un système de notation et/ou de pondération reconnu à l'échelle d'un pays voire d'un groupe de pays. Ces systèmes d'agrégation et de pondération utilisés sont basés sur cinq niveaux d'analyses et de présentation des données [BOUTAUD, 2004] (Figure 25) :

- les données de base (rang 1) représentent l'ensemble des données statistiques et économiques généralement nécessaires aux spécialistes du domaine.
- les indicateurs unitaires qualitatifs ou quantitatifs (rang 2) sont calculés à partir des données de base et peuvent être utilisés par les décideurs.
- les sous-critères ou critères (rang 3) synthétisent les informations apportées par les indicateurs unitaires.
- les indices globaux ou thèmes (rang 4) permettent une meilleure diffusion des informations en ciblant les personnes extérieures au milieu d'étude. Le rang 4 constitue le plus souvent le dernier niveau d'agrégation.
- Les dimensions (rang 5), agrégation optionnelle permettant une représentation simplifiée du champ d'investigation des labels.

Généralement, le rang 3 constitue le cœur des labels. En effet, les critères et sous-critères, par leur niveau intermédiaire, limitent le phénomène de corsetage¹⁵ et permettent de définir les objectifs précis à atteindre. De plus, ils conditionnent dans de nombreux cas l'obtention des labels [VILLOT et al, 2010].

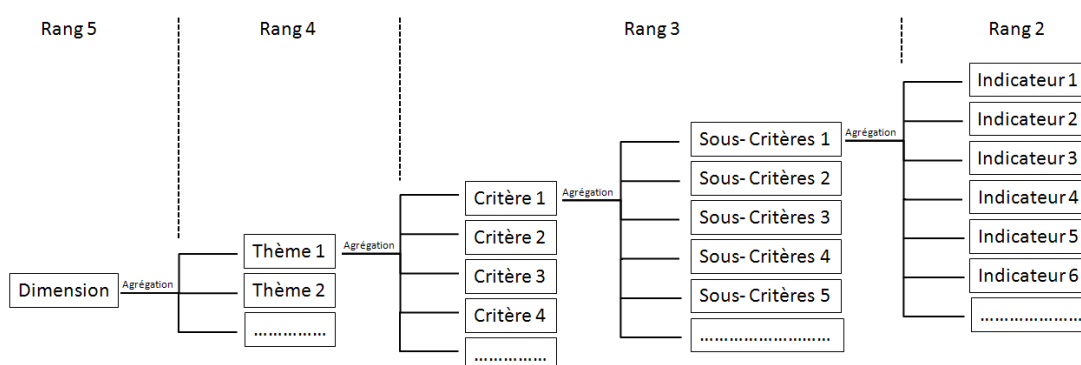


Figure 25 : Hiérarchisation des niveaux dans les labels du bâtiment.

Le nombre de critères à valider ainsi que leurs types est cependant variable d'un label à l'autre, divisant alors ces derniers en deux grands groupes : les labels environnementaux et les labels énergétiques.

➤ Les labels environnementaux

Les labels environnementaux (BREEAM, LEED, HQE, ...) sont généralement dits à « choix

¹⁵ Le phénomène de corsetage permet « selon le point de vue de l'observateur et ses propres priorités de filtrer les informations, conduisant à ce que différents publics concernés tirent des conclusions différentes d'une même base d'informations » [NF ISO 15392, 2008].

restrictifs » ou « semi-directifs » du fait de l'utilisation de critères en majorité non obligatoires¹⁶ [VILLOT et al, 2010]. L'utilisation de l'adjectif « environnementaux » tient à l'utilisation de critères (qualitatifs ou quantitatifs) majoritairement axés sur des aspects concernant les impacts sur l'environnement. De fait, une étude menée dans le cadre du projet européen Enerbuild sur 8 labels environnementaux montre que 85% des critères utilisés par ces labels peuvent être connectés à des problématiques environnementales [MORO, 2011]. Bien que le nombre de critères et leur répartition après agrégation puissent varier en fonction des labels, ils se regroupent généralement en une dizaine de thèmes récurrents dont les principaux sont présentés dans le Tableau 7.

Tableau 7 : Critères et thèmes généralement présents dans les labels environnementaux.

Thème	Critères
Energie	Consommations globales de chauffage, de refroidissement, d'eau chaude sanitaire, des appareils électroménagers, ...
Matériaux	Déphasage, énergie grise, pollution de l'air intérieur,
Eau	Maîtrise des consommations d'eau, gestion des eaux de pluie, traitement des eaux usées, ...
Qualité du site	Distance aux transports en commun, nombre de stationnements, présence de pistes cyclables, adaptabilité des logements, ...
Qualité du bâti	Maîtrise de l'hygrométrie, inertie thermique, compacité du bâtiment,
Economie	Coût de construction ou de rénovation, coût de fonctionnement,
Confort	Qualité de l'air, confort olfactif, confort thermique, confort électromagnétique, confort visuel (éclairage naturel ou artificiel), ...

Les labels environnementaux, au travers de différents thèmes, définissent une démarche multicritère, un ensemble d'actions variées pouvant répondre aux aspirations du plus grand nombre. En conséquent, certains auteurs les considèrent comme les seuls à viser la prise en compte de l'ensemble des objectifs de la construction souvent définie comme « durable » [DING, 2008]. Si la véracité de cette affirmation peut être discutée, ils accordent malgré tout une part importante à l'atteinte d'objectif énergétique. De fait, le thème énergie est récurrent dans les labels [VILLOT et al, 2010] et regroupe généralement le plus de critères [MORO, 2011]. Dans certains cas, seule la thématique énergie est abordée, les labels axés sur cette thématique unique sont alors appelés : labels énergétiques

¹⁶ Un critère non obligatoire signifie que l'utilisateur du label peut selon ses objectifs ou visions de la performance dans le bâtiment choisir ou non ce critère.

➤ Les labels énergétiques

Les labels énergétiques (Minergie, Passivhaus, Effinergie) sont « contraignants » de par la présence quasi exclusive de critères obligatoires [VILLOT et al, 2010]. Les critères utilisés souvent en quantité réduite comparés aux labels environnementaux limitent les consommations du bâtiment en ciblant spécifiquement un à plusieurs usages parmi lesquels : le chauffage, l'eau chaude sanitaire, l'électricité spécifique, etc. Malgré ces restrictions dans le nombre de critères et une thématique unique, ils sont actuellement de plus en plus utilisés par les acteurs du bâtiment et ce au détriment des labels environnementaux. En effet, les labels énergétiques permettent une plus value sur la valeur locative ou de vente d'un bien. Par exemple, aux USA, sur le marché de la location, les bâtiments certifiés par un label énergétique peuvent voir leur valeur par m² augmenter de 3 à 6%, alors qu'aucun effet n'est constaté, sur la valeur locative, pour les labels environnementaux. « Cela suggère que les investisseurs sont prêts à payer plus pour de l'efficacité énergétique mais pas pour une construction « durable » (environnementale) au sens large » [EICHHOLTZ et al, 2009]. Pour les labels énergétiques, un critère de consommation totale tout usage confondu est souvent nécessaire, et sa validation indispensable à l'obtention de la certification. Ces niveaux de consommations sont en majorité compatibles avec les objectifs du facteur 4 énergétique (dans le neuf tout du moins). En revanche, la variabilité des objectifs, des niveaux de performances et des usages pris en compte rend difficile leur comparaison et leur compréhension par certains acteurs du bâtiment. Par exemple, si l'on compare les labels Minergie, Effinergie et Passivhaus, tous applicables en France dans le neuf, on remarque que les consommations maximales varient du simple au triple pour un nombre d'usages énergétiques différents (4 pour Minergie, tous pour Passivhaus (Tableau 8).

Tableau 8 : Consommations et usages concernés pour 3 labels énergétiques (inspiré de www.alterre-bourgogne.fr)

	Minergie	Effinergie BBC	Passivhaus
Seuil de consommations (kWh _{ep} /m ² /an)			
bâtiment neuf/bâtiment ancien	38/60	50/80	120/-
Usage concerné pour les seuils de consommations	Chauffage + ECS + Ventilation + Climatisation	Chauffage + ECS + Ventilation + Refroidissement + Eclairages + Auxiliaires - Photovoltaïque	Idem Effinergie BBC + Energie spécifique

Les labels, bien que différents dans leur mode de construction (énergie, environnement) et de certification constituent des outils intéressants permettant d'orienter sous certaines conditions¹⁷ les actions vers des niveaux de performance élevée, et notamment vers le facteur 4. Applicable en majorité dans le neuf comme dans l'ancien, ils apportent un complément au scénario prospectif en cela qu'il précise à l'échelle d'un bâtiment les points et usages à prendre en compte. Cependant, la diversité des critères peut dans certains cas complexifier le choix des acteurs sur les dispositions à mettre en œuvre, d'autant plus que le nombre de thématiques est élevé (ex : les labels environnementaux). L'engouement pour le thème de l'énergie est toutefois indéniable et semble de plus en plus s'imposer et ce notamment au travers des labels énergétiques. Ces derniers, en proposant des objectifs ambitieux et en précisant les usages sur lesquels intervenir, s'orientent largement vers le facteur 4. Malgré tout, si les préoccupations et les réflexions à mener sont abordées et les objectifs précisés par critères, les dispositions techniques à mettre en œuvre et leurs performances minimales font généralement défaut. Les réglementations thermiques dont le développement s'est accéléré ces dernières années sous l'impulsion de directives européennes, mais aussi des solutions techniques apportent ces précisions, constituant alors elles aussi des outils privilégiés vers l'amélioration de la performance des bâtiments.

2.2. Les outils réglementaires français.

La première réglementation thermique (RT) a été créée en 1974 suite au premier choc pétrolier. Quatre versions applicables aux bâtiments neufs se sont succédées au fil des décennies, respectivement en 1988, 2000, 2005 et 2012. En 2007, afin de répondre à la directive européenne du 16 décembre 2002¹⁸ (légitimité réglementaire) visant à instaurer des exigences minimales mais surtout aux objectifs climatiques et énergétiques tel que le facteur 4, une variante transposée aux bâtiments existants a vu le jour. Ces réglementations ont pour but de promouvoir l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments (Figure 26). Pour ce faire, elles définissent les niveaux maximums de consommation (revus périodiquement à la baisse) ainsi que les performances minimales des éléments du bâti, faisant de ces dernières de véritables « gardes fous » vers l'objectif du facteur 4 dans le bâtiment.

¹⁷ [SAHEB, 2007] définit 10 grands principes devant être appliqués afin de garantir la plus value apportée par l'application d'un label ou d'une certification.

¹⁸ Directive 2002/01/CE du parlement européen et du conseil du 16 décembre 2002 sur la performance énergétique des bâtiments

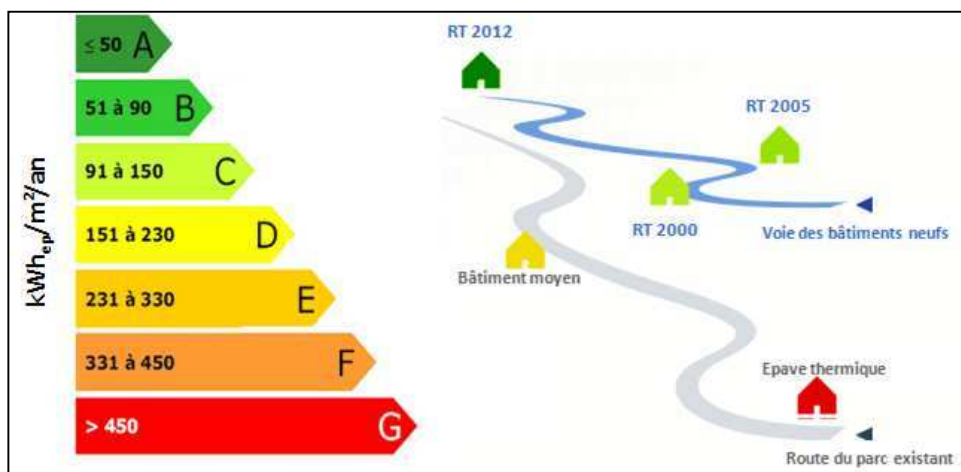


Figure 26 : Réglementation thermique et évolutions successives [JAYR et al, 2011].

2.2.1. La réglementation thermique dans les bâtiments neufs : la RT 2005

La réglementation thermique applicable aux bâtiments neufs jusqu'à 2012 est la RT 2005 définie par les articles L.111-9, R.111-20 du code de la construction et de l'habitation. Cette réglementation définit, selon 8 zones climatiques, « la consommation conventionnelle d'énergie d'un bâtiment pour le chauffage, la ventilation, le refroidissement, la production d'eau chaude sanitaire, et l'éclairage ¹⁹ ». Cette consommation conventionnelle doit être inférieure à un niveau de référence (Cep max pour consommation d'énergie primaire maximale), ce dernier correspondant « à la consommation qu'aurait ce même bâtiment pour des performances imposées des ouvrages et des équipements qui le composent » [CSTB, 2011a]. Actuellement, les niveaux de consommation maximale s'échelonnent selon le type de chauffage et la zone géographique de construction, entre 80 et 250 kWh_{ep}/m²/an (La RT 2012 revoie à la baisse la consommation d'énergie qui en moyenne sera de 50 kWh_{ep}/m²/an). Pour atteindre ces niveaux de performance, la réglementation thermique introduit des niveaux d'exigences minimales (Gardes fous) sur l'ensemble des éléments du bâti susceptible d'interagir sur la consommation d'énergie (Tableau 9). Les types de matériaux, équipements et systèmes utilisés restent en revanche à l'appréciation du concepteur, lui permettant ainsi de pallier aux contraintes architecturales du bâtiment et financières du maître d'ouvrage.

¹⁹ Arrêté du 24 mai 2006 relatif aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments.

Tableau 9 : Garde fou au niveau des exigences des parois dans la RT 2005 ⁸

Paroi	Coefficient de transmission thermique maximum U_{max} * en $W/(m^2.K)$
Murs extérieurs	0,45
Plancher bas	0,36 à 0,40
Plancher haut (toiture, comble, ...)	0,34 à 0,41
Fenêtre	2,60
* : U exprime la conductance d'une paroi (mur, fenêtre), c'est-à-dire l'intensité du flux de chaleur qui traverse un mètre carré de paroi pour une différence de température d'un degré kelvin entre les deux ambiances que sépare cette paroi. La valeur minimum et maximum de U dépend du type de contact de la paroi (avec l'extérieur, avec un local chauffé, avec un terre plein, etc.)	

A partir de Janvier 2013 (Octobre 2011 pour les bâtiments tertiaires et publics), la RT 2005 va laisser place à la RT 2012. Cette nouvelle réglementation abandonne en quasi totalité les exigences de moyens sur les éléments du bâti et ce au profit de 3 exigences de résultats : Le besoin bioclimatique (Bbio), la consommation d'énergie primaire (Cep) et le confort d'été²⁰.

- Le Bbio, indicateur sans unité représente la consommation conventionnelle d'énergie d'un bâtiment pour le chauffage, le refroidissement et l'ECS. Sa valeur doit être inférieure à un maximum ($B_{bio_{max}}$) variable selon l'altitude, la zone climatique, et la surface du logement.
- La Cep, exigence déjà présente dans la RT 2005 permet de définir la consommation conventionnelle pour 5 usages (Cf RT 2005). La valeur du Cep est limitée par un maximum (Cep_{max}) modulable selon la localisation géographique, l'altitude, le type de logement, la surface de ces derniers, ainsi que par les émissions de GES des énergies utilisées.
- Enfin afin de prendre en compte l'inconfort d'été de ces bâtiments et les potentielles conséquences énergétiques dues à l'utilisation d'un système de refroidissement, une contrainte liée à la température maximale de confort est introduite. Cette température nommée Tic (température intérieure conventionnelle) correspond à « la valeur maximale horaire en période d'occupation de la température opérative ; pour le résidentiel, la période d'occupation considérée est la journée entière. Elle est calculée en adoptant des données climatiques conventionnelles pour chaque zone climatique »

²⁰ Arrêté du 26 Octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments. JORF n°0250 du 27 octobre 2010 page 19260.

2.2.2. La réglementation thermique dans les bâtiments existants.

La réglementation thermique dite « RT existant » a pour principal objectif d'assurer l'amélioration significative de la performance énergétique d'un bâtiment lors de la mise en place d'un projet de rénovation par un maître d'ouvrage. Reposant sur les articles L. 111-10 et R.131-25 à R.131-28 du Code de la construction et de l'habitation ainsi que sur leurs arrêtés d'application, elle peut être divisée selon l'importance des travaux en deux catégories : la RT globale et la RT élément par élément. La réglementation thermique globale est applicable depuis le 1^{er} avril 2008 aux projets de rénovation dits très lourds de bâtiments dont la surface hors d'œuvre nette est supérieure à 1000 m². Seuls les bâtiments achevés après 1948, et dont le prix des travaux d'amélioration est estimé à plus de 25% de la valeur du bâti hors foncier sont concernés. Dans tous les autres cas de figure, une seconde réglementation dénommée « RT élément par élément » est applicable (Figure 27).

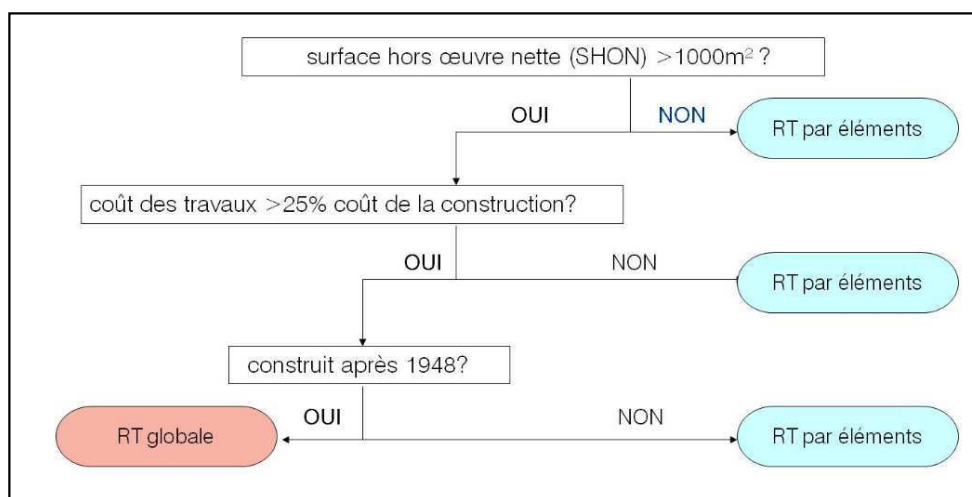


Figure 27: Conditions respectives d'application des réglementations thermiques pour les bâtiments existants [CSTB, 2011b].

➤ La RT globale.

La réglementation globale des bâtiments existants dans le cadre d'une rénovation peut en de nombreux points (méthode de calcul de l'inertie (Th-I), du facteur solaire (Th-S), du coefficient de déperdition par transmission (Th-U)) s'apparenter à la RT 2005 utilisée pour les bâtiments neufs. Tout comme la RT 2005, la réglementation thermique globale vise une consommation inférieure à un niveau de référence. Cette consommation maximale reste cependant inférieure en moyenne à celle des bâtiments neufs étant donnée qu'elle ne peut dépasser une valeur de 195 kWh_{ep}/m²/an (valeur variable selon le type de chauffage et la zone climatique) contre 250 kWh_{ep}/m²/an dans la RT 2005.

➤ La RT élément par élément.

Dans les projets de rénovation ne respectant pas les exigences nécessaires à l'application de la RT globale, la réglementation thermique dite « élément par élément » doit être appliquée. A l'inverse de la RT globale, la RT élément par élément ne vise pas une performance générale inférieure à un niveau de référence. L'exigence demandée lors du projet de rénovation cible en particulier la performance des parties du bâti (ouvrage, équipement ou systèmes) devant être remplacées ou modifiées. Huit points font l'objet d'un niveau de performance minimale et sont mentionnés dans l'arrêté du 3 mai 2007²¹. Ces 8 éléments sont les suivants : la ventilation, les parois opaques, la production d'eau chaude sanitaire et de chauffage, les parois vitrées, les systèmes de refroidissement et d'éclairage et enfin, l'utilisation d'énergie renouvelable. Le Tableau 10 présente pour les parois opaques et vitrées, le système de chauffage et la ventilation, les niveaux d'exigences minimum requis.

Tableau 10 : Exigence requise par la RT élément par élément pour 3 éléments¹⁰

	Elément	Performance requise
Parois opaques et vitrées	Murs extérieurs	$U \leq 0,43$, à $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
	Plancher haut (toiture, comble, ...)	$U \leq 0,22$ à $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
	Plancher bas	$U \leq 0,43$ à $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
	Fenêtre	$U \leq 2,3$ à $2,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Système de chauffage	Chaudière	Rendement $\geq 80,9\%$ à $90,9\%$
Système de ventilation	Auxiliaires de ventilation	Consommation $\leq 0,25$ à $0,45 \text{ Wh}/\text{m}^3$ par ventilateur

La valeur minimum et maximum de U dépend du type de contact de la paroi (avec l'extérieur, avec un local chauffé, avec un terre plein, etc.)

L'ensemble de ces exigences « ont pour ambition de cibler les techniques performantes tout en tenant compte des contraintes de l'occupant, ce qui permettra, en intervenant sur suffisamment d'éléments, d'améliorer significativement la performance énergétique du bâtiment dans son ensemble. [CSTB, 2011a] »

²¹ Arrêté du 03 mai 2007 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants. JORF n°114 du 17 mai 2007 page 9538.

Les techniques performantes sont présentées au travers de solutions techniques. Ces solutions permettent de cibler les matériaux, systèmes et équipements ayant la capacité de répondre aux exigences minimum nécessaires au niveau de performance exigé.

2.3. Les solutions techniques.

Afin d'atteindre les objectifs de consommations des différentes réglementations mais aussi du facteur 4 énergétique, des solutions techniques sont proposées aux acteurs du bâtiment. Parmi les solutions techniques, nous aborderons : les solutions techniques d'application de la RT 2005 ainsi que la « solution technique de référence » proposée par Olivier SIDLER (et son bureau d'études Enertech) ; cette dernière permettant selon son concepteur de répondre aux objectifs du facteur 4 énergétique.

2.3.1. Les solutions techniques d'application de la RT 2005.

Trois solutions techniques existent dans le cadre de l'application de la réglementation thermique : la ST 2007-01, la ST 2007-02 et la ST 2008-01. La première présente les solutions à mettre en place afin de garantir un confort estival minimum [ST 2007-01, 2007]. La seconde aborde les dispositions à mettre en œuvre dans le cadre de la thermique d'hiver en maison individuelle. Enfin, la troisième ST s'applique aux maisons individuelles en zone méditerranéenne [ST 2008-01, 2008]. « *L'application d'une solution technique agréée, (...), vaut conformité à la RT2005 dans la limite de son champ d'application* ». De ce fait, une construction « *conçue et réalisée conformément aux dispositions de la solution technique est conforme à la RT2005* » [ST 2007-02, 2007]. Les solutions techniques citées ci-dessus ne sont applicables qu'aux maisons individuelles neuves excluant les logements collectifs et existants. Cependant, étant donné la relative proximité au niveau des exigences entre le bâti neuf et ancien (dans le cadre de la RT globale), les dispositions proposées constituent, toutes choses égales par ailleurs, un outil utile pour les acteurs et ce quelque soit le bâti. Pour les bâtiments existants rénovés selon les principes de la RT élément par élément (et bien que celle-ci ne soit pas à proprement parler une solution technique), certains articles de l'arrêté d'application proposent les dispositifs et caractéristiques qui permettent de répondre aux exigences. Par conséquent, lorsque cela s'avère possible, les solutions applicables au bâtiment existant seront précisées.

Pour chaque disposition abordée par la solution technique ST 2007-02 correspond un nombre de points. Le cumul des points permet la validation du niveau de performance globale sous condition que le total soit supérieur ou égal à 19 (ou 21 selon les zones climatiques) et que certains éléments, dont l'enveloppe, aient atteint un quota minimum.

Les réglementations thermiques abordent 5 usages (le chauffage, la ventilation, le refroidissement, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage), c'est donc sur ces dernières que des solutions techniques sont proposées. Dans cette partie, du fait de la part importante des consommations de chauffage dans le bâtiment (près de 70% des consommations d'énergie du secteur résidentiel en 2008), seules les solutions techniques permettant la réduction de cette consommation seront développées.

Pour réduire la consommation de chauffage, 3 actions peuvent être entreprises sur un bâtiment. La première intervention est effectuée sur les parois opaques et/ou vitrées, la deuxième sur le système de ventilation et la troisième sur les systèmes produisant la chaleur. Aucun ordre ne semble prioritaire dans les ST étant donné que tous les postes doivent être traités. En revanche lors de rénovation, une hiérarchisation de ces actions apparaît nécessaire. Par exemple, une réduction des déperditions des parois réduira les besoins de chauffage et donc la puissance moyenne de la chaudière.

➤ Les parois opaques.

Afin de réduire les pertes d'énergie à travers les parois, une diminution de leur conductance (U) est nécessaire. La réduction de la conductance des parois peut être obtenue de deux manières : une isolation thermique et/ou un traitement des ponts thermiques.

Isoler les parois consiste à mettre en place un dispositif constitué de matériaux isolants. Ces matériaux isolants appliqués sur la face intérieure et/ou extérieure du mur sont identifiés par la solution technique au travers de leur résistance thermique R. La résistance thermique (en mètres carré kelvin par watt ($\text{m}^2\text{K/W}$)) indique pour une épaisseur d'isolant donné, la quantité d'énergie traversant un matériau lorsque la différence de température entre les deux faces est de 1 degré. R est donc dépendant de l'épaisseur du matériau et de sa conductivité thermique λ ²². Plus R est grand, plus le matériau est isolant²³. La somme des résistances thermiques de tous les matériaux composant le mur permet de définir la conductance U de la paroi au travers de l'équation $U = 1/\sum_1^n R$ (n est égale au nombre de couches de matériaux). Les résistances proposées par la solution technique ainsi qu'un exemple de matériaux et d'épaisseur répondant aux exigences des RT sont présentés dans le Tableau 11 pour le neuf et l'existant.

²² $R = \frac{e}{\lambda}$, e correspond à l'épaisseur en mètre et λ à la conductivité du matériau utilisé.

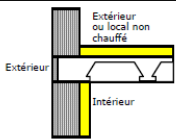
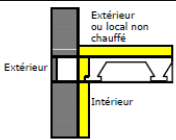
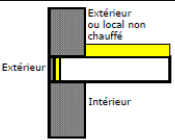
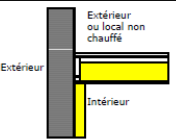
²³ D'après la norme NFP 75-101, un matériaux peu être désigné comme isolant thermique si sa résistance est supérieure ou égale à 0,5 $\text{m}^2\text{K/W}$ et sa conductivité inférieure ou égale à 0,065 W/mK »

Tableau 11 : Résistances thermiques et matériaux applicables par la ST 2007-02 et la RT pour l'existant
[ST 2007-02, 2007]

Parois		R (m².K/W)	Exemple de matériaux et d'épaisseur
Murs extérieurs	Neuf	≥ <u>2,2</u> à 3,2* m².K/W	Entre 7 et 10 cm de laine de verre
	Existant	≥ 2 à 2,3 m².K/W	Entre 8 et 9 cm de fibres de bois
Planchers hauts	Neuf	≥ <u>4</u> à 5,5* m².K/W	Entre 16 et 22 cm de ouate de cellulose
	Existant	≥ 2,5 à 4,5 m².K/W	Entre 10 et 19 cm de laine de roche
Planchers bas	Neuf	≥ <u>1,7</u> à 4* m².K/W	Entre 6 et 15 cm de polystyrène
	Existant	≥ 2 à 2,3 m².K/W	Entre 5 et 6 cm de polyuréthane

* : la résistance minimale requise dans le neuf dépend du nombre de points souhaité et du type de contact (avec l'extérieur, avec un local chauffé,...). La valeur soulignée représente le minimum nécessaire pour respecter les gardes fous dans la RT 2005.

La deuxième action visant à réduire la conductance est obtenue par un traitement des ponts thermiques. Les ponts thermiques constituent des zones du bâtiment au niveau desquelles la résistance thermique est affaiblie de manière sensible. Généralement situés au niveau des liaisons entre parois (ponts thermiques linéiques) ainsi qu'au niveau des tasseaux et profilés métalliques nécessaires à la mise en œuvre des matériaux isolants (ponts thermiques ponctuels), ils entraînent une perte accrue de chaleur pouvant représenter de 3% à 63% de la déperdition totale de la paroi [OLIVA et al, 2010]. De ce fait, en fonction des configurations (planchers bas, intermédiaire, haut, ...) plusieurs solutions sont proposées. Un exemple des dispositifs à mettre en œuvre pour le traitement des ponts thermiques situés au niveau des planchers hauts est présenté sur la Figure 28.

Plancher haut entrevous béton ou terre cuite avec isolation en face supérieure d'épaisseur ≤ 20 cm	Plancher haut à poutrelles avec rupteur de pont thermique sous Avis Technique en cours de validité et mur isolé par l'intérieur	Plancher haut lourd et mur à isolation répartie avec pont thermique traité ⁽¹⁾ en about de plancher	Plancher haut léger (rampant ou plafond sous comble perdu)
			
PTHa	PTHb	PTHc	PTHd
0 points	2 points	2 points	2 points

(1) Avec une planelle de même matériau que le mur doublée d'une bande isolante d'au moins 3 cm d'épaisseur et placée en about de dalle.

Figure 28 : Dispositifs et ponts thermiques associés. Exemple des planchers hauts (les zones en jaunes représentent un isolant) [ST 2007-02, 2007]

➤ Les parois vitrées

Les parois ou baies vitrées constituent le second type de parois dont les caractéristiques ont une importance sur les déperditions de chaleur. Les zones vitrées sont évaluées au travers de la valeur U_w regroupant les performances du châssis (U_f) et de la vitre (U_g). La solution technique propose donc des fenêtres dont la valeur U_w est inférieure à un minimum. Pour les produits ayant la marque CE, cette valeur doit être inférieure ou égale à $2,6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ pour le neuf et l'existant (ces valeurs peuvent être modifiées en fonction du type d'ouvrant (coulissant, à la française, etc.)). Certaines des solutions permettant de répondre à ces exigences sont présentées pour le bâti existant dans le Tableau 12 et font référence en majorité à des fenêtres à doubles vitrages peu émissifs à isolation renforcée.

Tableau 12 : Exemple de configuration répondant aux exigences de l'article 9 de l'arrêté du 3 mai 2007 pour les fenêtres.

Menuiseries	Epaisseur minimale de la lame d'air ou de gaz rare du vitrage
Métallique à rupture de pont thermique	14 mm de gaz rare
	16 mm d'air ou 12 mm de gaz rare
	10 mm d'air ou 8 mm de gaz rare
PVC, Bois	10 mm d'air ou 8 mm de gaz rare

➤ La ventilation.

Le système de ventilation représente un « organe vital » du bâti de par son rôle joué dans le renouvellement et la qualité de l'air intérieur. Si ce renouvellement est nécessaire, il entraîne une déperdition de chaleur par l'air extrait. De ce fait, il constitue un point crucial devant être traité dans le cadre d'actions visant la réduction des consommations d'énergie dans l'habitat. Ainsi, la solution technique propose des systèmes (ventilation mécanique contrôlée autoréglable et hygroréglable) dont la composition, la consommation d'énergie et les caractéristiques techniques permettent de limiter les déperditions (Tableau 13). A titre d'exemple, pour un système de ventilation mécanique contrôlée simple flux hygroréglable, ce dernier devra être composé :

- « d'un kit sous avis technique comportant, un caisson d'extraction, des bouches d'extraction, éventuellement des conduits ou des organes acoustiques. Le caisson ou les bouches sont munis d'un dispositif de modulation des débits ;
- d'entrées d'air dont le type et le nombre sont indiqués sur l'emballage du kit en fonction du nombre de pièces principales du logement. » [ST 2007-02, 2007]

Tableau 13 : Dispositif proposé pour le système de ventilation et points correspondants. [ST 2007-02, 2007]

VMC autoréglable autres cas	VMC autoréglable groupe marqué NF VMC	VMC hygroréglable marquée CSTBAT	VMC hygroréglable marquée CSTBAT	VMC hygroréglable marquée CSTBAT
		Classe E	Classe D	Classe C
VMCa	VMCb	VMCc	VMCd	VMCe
0 point	1 point	2 points	2 points	3 points

D'une manière générale, les VMC autoréglables et hygroréglables permettent une diminution du volume d'air extrait. Par conséquent, la quantité d'énergie perdue au travers du système de ventilation est réduite comparée à des systèmes naturels et/ou statiques.

➤ Le système de chauffage

Les solutions applicables aux systèmes de chauffage et nécessaire à l'obtention des niveaux d'exigences de la RT 2005 sont variables selon le type de chauffage (électrique par effet joule, à combustibles (gaz, fioul) ou thermodynamique (pompe à chaleur)). Ces systèmes dont le rôle principal est de transformer une énergie pour la restituer sous forme de chaleur sont caractérisés par leur rendement. Le rendement global d'un système de production de chaleur est fonction de 4 paramètres : le rendement du générateur (la chaudière), de distribution (les tuyaux), des émetteurs (les radiateurs) et de régulation (le thermostat et/ou les robinets thermostatiques). Ces 4 paramètres notés respectivement R_g , R_d , R_e et R_r sont reliés au rendement total par l'Équation 5:

$$R_{tot} = R_g \times R_d \times R_e \times R_r$$

Équation 5 : Rendement d'un système de chauffage

L'objectif visé par la solution technique est donc de proposer des dispositifs permettant d'optimiser le rendement des systèmes afin de garantir a minima les niveaux demandés par les RT.

Pour ces raisons, si l'on prend l'exemple du système de chauffage par combustibles, la solution technique recommande :

- L'utilisation d'une chaudière marquée CE (chaudière basse température, chaudière à condensation);
- Des radiateurs ou un plancher chauffant sur chape flottante ;
- Une isolation du réseau de distribution par un isolant dont l'épaisseur est au moins égale à la moitié du diamètre extérieur du tuyau si ces derniers sont situés au dehors du volume chauffé ;
- Un système de régulation comprenant : un thermostat d'ambiance programmable, des robinets

thermostatiques et un dispositif permettant l'arrêt de la pompe de circulation en dehors de la saison de chauffe. [ST 2007-02, 2007]

Que ce soit au niveau des systèmes ou de l'enveloppe, la solution technique pour l'application de la RT 2005 ainsi que les configurations proposées pour les bâtiments existants permettent aux acteurs du bâtiment intervenant dans un projet de rénovation ou de construction de cibler les techniques les plus performantes. Cependant, si cette solution assure le niveau réglementaire, elle reste encore en dessous des exigences requises pour atteindre le facteur 4, notamment dans le bâti existant. Pour atteindre cet objectif au niveau des consommations de chauffage, une solution, plus ambitieuse est proposée par un des membres fondateur de l'association négaWatt : la Solution Technique de Référence.

2.3.2. La Solution Technique de Référence.

La solution technique de référence (STR) précédemment connue sous l'appellation solution technique universelle (STU) propose, tout comme celle précédemment étudiée, un ensemble de techniques performantes permettant de répondre à des objectifs quantitatifs. L'objectif est néanmoins plus ambitieux que ceux évoqués par la réglementation étant donné la volonté de diviser par 4 la consommation d'énergie dans les bâtiments existants ($50 \text{ kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2/\text{an}$ pour le chauffage). Cette objectif est indispensable pour les créateurs de cette solution sous peine de « tuer le gisement » de réduction d'émissions de GES et d'énergie de ce secteur, et à plus large échelle, de voir s'éloigner le facteur 4 climatique [SIDLER, 2007].

La STR, développée au sein du cabinet Enertech par une équipe d'ingénieurs et son directeur Olivier SIDLER²⁴, se base sur les résultats de simulations thermiques dynamiques réalisées par le logiciel TRNSYS (Transient System Simulation Tool) sur plus de 4000 logements en France (légitimité basée sur l'expérience). Ces simulations exécutées en conditions variées dans l'ensemble de zones climatiques françaises sur des bâtiments dans leur état initial, puis en conditions exploratoires ont permis de faire apparaître les solutions techniques « *qui appliquées à l'ensemble du parc de bâtiment sans distinction, permettraient d'atteindre* » [SIDLER, 2010] le facteur 4 énergétique (sur la consommation de chauffage). Les conditions exploratoires ont porté sur les trois éléments du bâti précédemment cités (Cf. partie 2.3.1) : les parois (opaques et vitrées), la ventilation, et le système de chauffage. Les simulations se sont attachées à faire varier les caractéristiques des matériaux et systèmes, exception faite du système de chauffage dont les rendements étaient fixés par type d'énergie utilisée. Les résultats de ces simulations sur ces

²⁴ Olivier Sidler, ingénieur en énergétique de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne et directeur du cabinet Enertech est l'un des pionniers de la performance énergétique dans le bâtiment en France. Membre fondateur de l'association négaWatt, ses travaux et ceux de son cabinet font références dans ce domaine.

éléments concluent sur trois enseignements [SIDLER, 2007] :

- Premièrement, la nature du mur d'origine d'un bâtiment devant être isolé n'a aucune influence sur la consommation finale du bâti après rénovation. Aucune étude sur la performance de l'enveloppe n'est donc nécessaire avant rénovation pour les créateurs de la STR.
- Deuxièmement, la perméabilité à l'air de l'enveloppe, c'est-à-dire le volume d'air s'échappant du bâti en dehors des systèmes de ventilation, est un élément indispensable à traiter dans le cadre de rénovation
- Enfin, la récupération de chaleur sur l'air extrait par le système de ventilation, doit être mise en place et est obligatoire à tout projet de rénovation sous peine de ne pas atteindre l'objectif de 50 kWh/m²/an.

C'est donc à partir de ces constats, et de l'idée « *d'imposer les mêmes prestations à tous les logements lors de leur rénovation, (...), afin d'atteindre non pas un objectif individuel mais commun à l'échelle nationale* » [SIDLER, 2007], que la solution technique de référence est née. Ses dispositions sont les suivantes :

1. *Ajouter aux murs et au plancher bas (sur garage ou extérieur) un isolant de résistance thermique minimum égale à 4,3 m²K/W* ;*
2. *Ajouter en combles ou en toiture un isolant possédant une résistance thermique de 7,5 m²K/W ;*
3. *Remplacer les menuiseries par des fenêtres en bois non renforcées munies de triple vitrage peu émissif avec argon ($U_w \leq 1,1 \text{ W/m}^2\text{°C}$) ou d'un double vitrage peu émissif à l'argon (si le bâtiment est isolé par l'extérieur)* ;*
4. *Mettre en œuvre une ventilation double flux avec récupérateur de chaleur présentant une efficacité minimum égale à 70 % ;*
5. *Utiliser pour la production de chaleur soit une chaudière gaz à condensation, soit une chaudière fioul à haut rendement, soit une pompe à chaleur sur l'air extrait, soit une chaudière à bois. La seule condition étant que le rendement de cette dernière soit supérieur à 70%.*

*En fonction de la perméabilité à l'air du logement, les résistances additionnelles pour le plancher bas et la performance des menuiseries peuvent être augmentées ou diminuées.

Les principaux postes traités par cette solution sont communs à la ST 2007-02. Seuls les niveaux de performances et les techniques préconisées diffèrent. De fait, la STR exige l'utilisation d'isolants dont les résistances sont supérieures à celles proposées actuellement dans le neuf et l'existant, et ce quelque soit le type de parois. Au niveau des systèmes de ventilation, la ventilation

double flux²⁵ est obligatoire et permet de réduire drastiquement les pertes de chaleur par renouvellement d'air. La STR donne, de plus, une part importante à la perméabilité de l'enveloppe. De fait, des infiltrations d'air parasites, c'est-à-dire non issues du système de ventilation, sont généralement constatées dans les bâtiments neufs comme anciens, et constituent une source importante de perte d'énergie pouvant représenter une augmentation de 3 à 50 % des besoins de chauffage selon le niveau de performance de l'enveloppe [CETE, 2008]. Les valeurs abordées par la STR sont comprises entre 1 et 3 vol/h pour un différentiel de pression entre l'intérieur du logement et l'extérieur de 50 Pascal (n50). Ces niveaux restent largement supérieurs à ceux actuellement préconisés dans la RT 2005 ainsi que par la future réglementation thermique applicable en 2012 dans les bâtiments neufs (Encart 7).

Encart 7 : n50 et Q4

Dans la réglementation thermique, la perméabilité à l'air est calculée par l'intermédiaire de l'indice Q4 alors que la STR aborde la question au travers de l'indice n50, utilisé notamment pour les bâtiments respectant les critères du label Passivhaus. La conversion entre le n50 et le Q4 est complexe. Le Q4, en $\text{m}^3/(\text{h}/\text{m}^2)$, est fonction du volume chauffé (V) et de la surface des parois déperditives (S), c'est-à-dire de la compacité du bâti (V/S). Au contraire l'indice n50 qui utilise un indicateur en vol/h n'est dépendant que du volume chauffé. Par conséquent, pour obtenir une équivalence, il est nécessaire de définir un indice de compacité (indice variable selon le bâti). Par exemple, si l'on prend les valeurs de perméabilité fixées par la RT 2005 et la RT 2012 et que l'on applique une compacité moyenne de 1,4 pour des maisons individuelles et 2,5 pour le logement collectif, les équivalences avec le n50 sont les suivantes (Tableau 14) [CNDB, 2009].

Tableau 14 : Equivalence entre le Q4 et n50 selon le type de logement.

	Maisons individuelles		Logements collectifs	
	Q4 (en $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$)	n50 (en vol/h)	Q4 (en $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$)	n50 (en vol/h)
RT 2005	0,8	≈ 3,1	1,2	≈ 2,6
RT 2012	0,6	≈ 2,3	1	≈ 2,2

On remarque alors que les niveaux de perméabilité proposés par la STR pour le bâti existant sont équivalents voire supérieurs au niveau réglementaire actuel et futur dans le neuf.

En proposant ces dispositions, la STR permet une simplification importante du processus de rénovation (meilleure appropriation par les artisans du bâtiment). Aucune étude thermique ne

²⁵ Une ventilation double flux est un système qui permet de préchauffer l'air froid arrivant de l'extérieur par un transfert de calories issues de l'air vicié. Ce transfert est effectué par l'utilisation d'un échangeur de chaleur.

semble nécessaire (ce qui permet une réduction des coûts), et au contraire des ST précédemment étudiées, elle est applicable aux logements existants sans distinction de forme, position géographique, année de construction ou type (collectif, individuel). En contre partie de cette simplicité et de l'application de règles identiques, certains logements rénovés voient leur consommation dépasser l'objectif moyen alors que d'autres sont bien en dessous. La STR, à travers une obligation de moyen et non de résultats à l'échelle d'un bâtiment, s'insèrent encore aujourd'hui comme l'un des seuls outils permettant l'application des objectifs du facteur 4 énergétique dans le bâtiment. De plus, en abordant la problématique du bâtiment existant, elle permet d'apporter des solutions concrètes aux acteurs du bâtiment désireux d'attaquer le gisement d'économie encore délaissé par les réglementations actuelles.

3. Les points clefs à prendre en compte

Les actions à mener afin d'atteindre le facteur 4 énergétique dans le bâtiment et de contribuer au facteur 4 climatique au niveau national sont nombreuses. Des scénarios prospectifs jusqu'aux solutions techniques en passant par les labels et les réglementations, chacun apporte des solutions à son niveau. En effet, les scénarios prospectifs, en abordant un ou plusieurs secteurs de l'économie, proposent les directions et actions générales à mener. Définissant des objectifs applicables à l'ensemble d'un secteur, ils permettent aux différents acteurs d'aborder les conséquences des choix qui s'offrent à eux. Les réglementations et labels précisent les niveaux de performances à atteindre dans le secteur du bâtiment. Légitimés par des textes de lois ou par une utilisation des acteurs de terrain, ils constituent de véritables guides, et affinent les objectifs quantitatifs au niveau des usages (chauffage, ECS, électricité) et des bâtis (collectif, individuel, neuf, existant). Enfin, les solutions techniques issues de l'expérience de leurs concepteurs en proposant les dispositions techniques les plus performantes permettent de transposer ces objectifs théoriques en solutions pratiques.

Afin de représenter schématiquement ces cheminements ainsi que les points clefs abordés par les différents outils présentés, nous proposons ici un récapitulatif sous la forme d'un arbre de décisions logiques. Un « *arbre de décision est basé sur un schéma multi-étapes, hiérarchisé en une structure tel un arbre* » [MIN et al, 2005]. Il existe de nombreux sous-ensembles d'arbres logiques, la méthode que nous mobilisons ici s'inspire de l'un deux en particulier : l'arbre des buts et des succès (ABS) [MODARRES et al, 1987]²⁶. Les ABS sont des sous-catégories d'arbres logiques, et « *produisent des représentations de la logique d'un système* ». Un arbre de succès « *représente de façon*

²⁶ La construction d'un arbre notamment en analyse des risques est régie par des codes précis. Notre désir ici est de représenter un cheminement à partir des informations extraites des modèles et outils décrits dans la partie 1 et 2. Par conséquent l'arbre présenté n'est pas à proprement parlé un véritable arbre de succès.

synthétique l'ensemble des combinaisons d'événements qui, dans certaines conditions produisent un événement, point de départ de l'étude ». Construire ces arbres « revient à répondre à la question « comment tel événement peut-il arriver ? », ou encore « quels sont tous les enchaînements possibles qui peuvent aboutir à l'événement ? » [MORTUREUX, 2008]. Dès lors, il convient de construire synthétiquement, par la succession d'événements de base et intermédiaire ainsi que par l'utilisation de connecteurs (Et/Ou), l'ensemble des cheminements conduisant à l'événement sommet.

L'arbre présenté en Figure 29 est une application de l'ABS au poste de chauffage. La branche constituée ne représente qu'une des innombrables possibilités pouvant conduire vers l'objectif souhaité. Par exemple, une réduction de la consommation de chauffage est obtenue dans l'arbre présenté par une diminution de l'affluence et des impacts de la technologie (connecteur ET). Or comme nous l'avons déjà évoqué, il est tout à fait possible de choisir l'une ou l'autre de ces actions (connecteur OU) ou alors de modifier le pourcentage de réduction (passer de X% à Y%). Dans ce cas, la succession des événements change et constitue une nouvelle branche alternative. Les scénarios prospectifs, ou encore les solutions techniques sont un exemple de la diversité des trajectoires.

En effet, si l'ensemble de ces dispositifs conduisent vers une réduction des émissions et consommations d'énergie, force est de constater que les performances préconisées et les chemins empruntés sont divers et leur efficacité variable décrivant alors « *un faisceau de chemins extrêmes à l'intérieur duquel pourraient prendre place plusieurs trajectoires menant vers le facteur 4* » [TRAISNEL et al, 2010] (**hypothèse 3**).

Malgré tout, les cheminements qui en découlent et les branches empruntées ne restent que théoriques. Si l'application d'une solution technique dans le bâtiment peut paraître aisée au travers d'un modèle, sa réelle mise en place sur le terrain reste conditionnée par la complexité du secteur du bâti, la diversité de ses caractéristiques de même que par la multiplicité de ses acteurs.

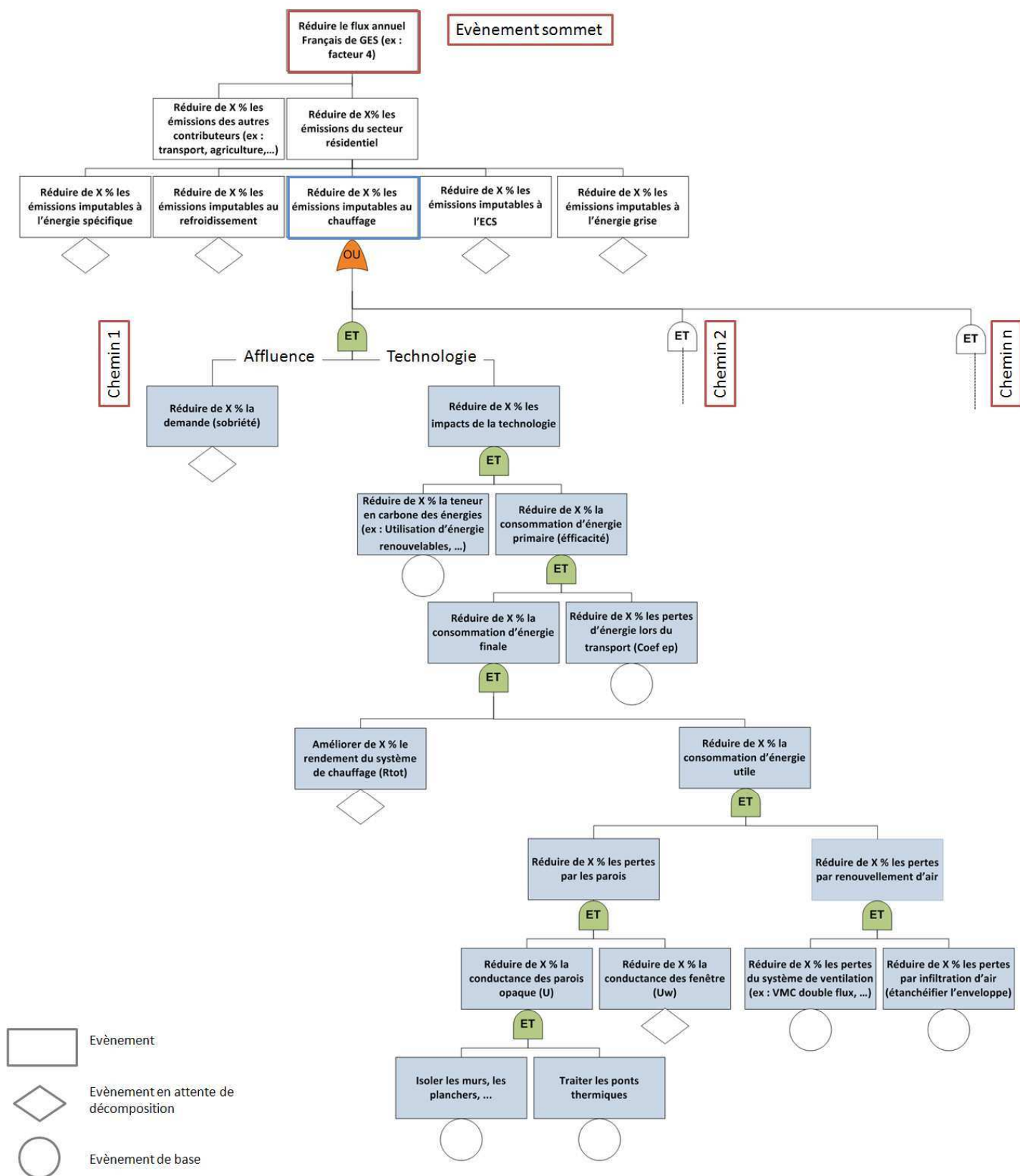


Figure 29 : Représentation d'une branche de l'arbre de décision logique regroupant les principaux éléments ayant attrait à la consommation d'énergie de chauffage.

4. Le bâti résidentiel, un secteur complexe et inégalitaire.

La diversité du bâtiment, de ses caractéristiques, mais aussi et surtout la multiplicité des acteurs qui composent ce système sont des données très souvent sous estimées voire écartées par les modèles et solutions techniques. Ces modèles donnent alors « *une vision extrêmement biaisée d'une réalité beaucoup plus complexe* » [DAVID et al, 2007].

4.1. Le bâtiment et la notion de système complexe.

Les systèmes sont partout, de la cellule à l'animal, de la machine à l'entreprise. Les systèmes font référence à un assemblage de parties, d'éléments ou de composants de natures différentes. Ces éléments, séparés de l'environnement sont agencés et entretiennent des relations de natures diverses afin d'atteindre un ou plusieurs objectifs communs [DONNADIEU et al, 2002]. La principale question lorsque l'on étudie un système est de savoir s'il est possible de le décrire à partir de règles simples. La simplicité ou le « *paradigme de simplicité est un paradigme qui met de l'ordre dans l'univers, et en chasse le désordre. L'ordre se réduit à la loi, à un principe. La simplicité voit soit l'un, soit le multiple* ». En d'autres termes, « *la simplicité soit sépare ce qui est lié (disjonction), soit unifie ce qui est divers (réduction)* » [MORIN, 1991]. Si une approche simple peut être utile dans certains systèmes, elle devient insuffisante lorsque le nombre d'éléments augmente et/ou que leur relation et organisation deviennent complexes. Qu'est ce que la complexité ? « *A première vue, la complexité est un tissu (complexus : ce qui est tissé ensemble) de constituants hétérogènes inséparablement associés* », c'est aussi « *un phénomène quantitatif, l'extrême quantité d'interactions et d'interférences entre un très grand nombre d'unités* » [MORIN, 1991]. La complexité n'est pas synonyme de complication et son application ne vient pas suppléer au manque d'une pensée simplifiante. « *Alors que la pensée simplifiante désintègre la complexité du réel, la pensée complexe intègre le plus possible les modes simplifiants de penser, mais refuse les conséquences mutilantes, réductrices, unidimensionnalisantes et finalement aveuglantes d'une simplification qui se prend pour le reflet de ce qu'il y a de réel dans la réalité* ». Enfin, « *la complexité ne comprend pas seulement des quantités d'unités et d'interactions qui défient nos possibilités de calcul ; elle comprend aussi des incertitudes, des indéterminations, des phénomènes aléatoires* » [MORIN, 1991]. Ces incertitudes sont inhérentes au système complexe, ceci est particulièrement vrai lorsque les éléments qui le composent sont de deux types : humain et machine. De fait, alors que certains systèmes telles les molécules ont de par leur structure et interaction des comportements prévisibles, ceux des systèmes complexes faisant intervenir l'homme et la machine le sont plus difficilement. Les hommes ou « *les individus, par essence même, ne sont jamais totalement prévisibles. L'homme possède au moins une dimension supplémentaire par rapport à la machine : l'affectivité. Cette dimension fait qu'il possède la volonté de faire ou de ne pas faire ce qu'on lui demande et qu'il éprouve des émotions (du stress, de la satisfaction ou non suite à une activité...)*. L'homme n'a donc pas que des objectifs

et des moyens à la différence des machines même les plus perfectionnées, il a aussi une volonté qui résulte de ses valeurs» [VAUTIER, 2001]. Le secteur du bâtiment et plus précisément du résidentiel existant de par les éléments techniques et humains peut-être caractérisé comme un système complexe, c'est-à-dire « un système composé (...), organisé sur la base de règles et de rôles, de normes et de contrôles, de programmes et de positions plus ou moins standardisées, et ce en vue de réaliser des objectifs prédéfinis » [CHATZIS, 1993]. Un tel système, en tant que « produit artificiel de l'esprit de l'homme » peut être défini selon trois pôles : le pôle ontologique, le pôle fonctionnel et le pôle génétique [LE MOIGNE, 1977]

- Le pôle ontologique décrit ce que le système est, c'est-à-dire l'ensemble des composants qui le constitue ;
- Le pôle fonctionnel aborde ce que le système fait c'est-à-dire les différentes activités qu'il mène ;
- Enfin, le pôle génétique définit ce que le système devient. Le pôle génétique peut être subdivisé en deux parties : le pôle téléologique et le pôle transformationnel. Le pôle téléologique représente la finalité du système c'est-à-dire le ou les objectifs qu'il poursuit par activités et au global. Le pôle transformationnel quant à lui représente le changement du système, à savoir, son évolution entre un état A et un état B.

Ainsi, le système bâtiment « représente l'ensemble des éléments humains, matériels, et immatériels intervenant dans les activités liées au cycle de vie du bâtiment²⁷. Les limites de ce système sont les bornes caractérisant le début et la fin du cycle de vie. Les éléments situés entre ces bornes, sont considérés à titre égal comme des composants du système » [OUMEZIANE, 2005] (pôle ontologique). L'objectif prioritaire (pôle téléologique) d'un tel système est de créer ou rénover un bâtiment afin qu'il puisse fournir à ses futurs utilisateurs, les conditions optimales nécessaires à leur activité. « Ces conditions constituent les fonctions d'usage, c'est-à-dire les fonctionnalités indispensables pour pouvoir accomplir un certain nombre de tâches, et ce indépendamment des éléments extérieurs qui pourraient entraver leur bonne fin » [GOBIN, 2003]. Sept fonctions d'usage peuvent être identifiées et sont regroupées dans le Tableau 15.

²⁷ Dans notre cas, le terme bâtiment fait référence au bâti résidentiel existant. Le cycle de vie est quant à lui bornée à l'échéance de 2050.

Tableau 15 : Fonctions d'usage du bâtiment. [GOBIN, 2003]

1 - Fournir les espaces pour mener des activités	Service rendu par l'habitat qui permet à l'utilisateur de disposer d'espaces nécessaires pour accomplir différentes actions menées soit à l'intérieur du groupe familial, soit avec des personnes extérieures.
2 - Protéger les biens et outils ainsi que le groupe humain	Service rendu par l'habitat qui permet à l'utilisateur de préserver (mais aussi d'utiliser) ses biens et ses outils malgré les diverses agressions climatiques, d'environnement ou d'actions volontaires d'autres personnes.
3 - Mettre à disposition les biens et outils	Service rendu par l'habitat qui permet à l'utilisateur d'utiliser les outils nécessités par ses activités et de profiter de ses biens.
4 - Fournir une ambiance	Service rendu par l'habitat qui permet à l'utilisateur d'adapter l'ambiance intérieure en fonction de l'ambiance extérieure.
5 - Maîtriser les relations	Service rendu par l'habitat qui permet à l'utilisateur de filtrer, d'empêcher ou de favoriser ses contacts avec les autres personnes de l'extérieur et avec les éléments naturels de son environnement.
6 - Tirer parti du site	Service rendu par l'habitat qui permet à l'utilisateur de vivre dans un site sans lui porter atteinte.
7 - Fonction sémiologique	Qualité du vécu de l'habitat par l'utilisateur. C'est donc ce qui fait la différence entre une somme aride de composants techniques et l'appropriation de l'habitat.

Pour chacune de ses fonctions, des niveaux de performance d'usage et d'exploitation doivent être définis. La performance d'usage (PU) se réfère au niveau de service attendu par l'utilisateur, alors que la performance d'exploitation (PE) représente les conditions inhérentes à l'obtention de ce niveau de service. Par exemple, pour la fonction d'usage « fournir une ambiance » la PU et la PE seraient respectivement : fournir une température de 19°C et consommer moins de X $\text{Kwh}_{\text{ep}}/\text{m}^2/\text{an}$.

Dans le cadre de l'objectif du facteur 4 énergétique, c'est précisément l'amélioration de la performance d'exploitation des fonctions d'usage qui est visée. Le système et donc ses composants vont s'organiser autour d'activités et de projets (pôle fonctionnel) afin d'évoluer vers un état 4 fois moins consommateur d'énergie (pôle transformationnel). Le Tableau 16 résume au travers des 4 pôles, le système bâtiment.

Tableau 16 : Définition du système bâtiment

Axe ontologique	le système bâtiment = Ensemble des éléments humains (cf 5.1), matériels (cf 4.2), et immatériels du bâti résidentiel existant qui interviennent dans les limites du système. Les limites du système = bornes caractérisant le début et la fin du cycle de vie du bâti.
Axe fonctionnel	Ensemble des activités du système = Projet de rénovation et phases de ce dernier (Conception et utilisation incluse) (cf. 5.1.3)
Axe génétique téléologique	Améliorer la performance d'exploitation du bâti existant d'un facteur 4 tout en conservant les fonctions du bâtiment et leurs performances d'usage.
Axe génétique transformationnel	Evolution du système d'un état A vers un état B quatre fois moins consommateur.

4.2. Les logements existants et leurs occupants, des éléments du système.

Les éléments techniques et humains du système étudié montrent des caractéristiques variables. Ces différences propres à chaque bâti que ce soit au travers du type de logement, de son statut juridique ou de propriété, de son ancienneté, de ses caractéristiques structurelles ou encore du « mode d'habiter » de ses habitants complexifient le système et conditionnent fortement les solutions applicables dans le cadre d'un projet de rénovation. Les prochaines parties s'attacheront à identifier sans viser l'exhaustivité les caractéristiques propres à chaque composant du système.

4.2.1. Des caractéristiques propres à chaque logement.

En 2009, le secteur résidentiel représentait en France (métropole, départements d'outre mer) plus de 33 millions de logements. Les logements, c'est-à-dire les locaux à usage d'habitation sont répartis selon l'INSEE en 3 jeux de segmentation.

➤ Le type de logement

Le premier jeu divise les logements en 4 catégories : les logements principaux, secondaires, occasionnels et vacants. Les résidences principales sont des locaux occupés de façon habituelle par une ou plusieurs personnes du ménage. Au contraire, les logements secondaires, sont habités de façon sporadique pendant les vacances et les week-ends. Enfin, les logements vacants sont des logements inoccupés pour une période de temps indéfinie. Cette période correspond

généralement à leur mise en vente ou en location [INSEE, 2011]. Le parc de logements est en majorité constitué de résidences principales, qui avec plus de 27 millions d'unités représente près de 84% des logements en France (Tableau 17). Chaque année, ce sont plus de 300000 nouveaux logements qui sont construits soit une augmentation annuelle moyenne du parc de 1,2%. L'augmentation du parc de logements principaux est largement imputable à la réduction de la taille des ménages et donc à l'augmentation de leur nombre. De fait, le nombre de ménages est identique au nombre de logements de par la définition de l'INSEE. Ainsi, lorsque le nombre de ménages augmente le nombre de logements varie en conséquence [JACQUOT, 2002].

Au-delà de leur caractère principal, secondaire ou vacant, les logements peuvent être divisés en deux grandes entités : les logements collectifs et individuels. Un logement est dit collectif lorsqu'il se trouve dans un immeuble composé au minimum de deux habitations [INSEE, 2011]. Les logements individuels, c'est-à-dire les maisons, représentent aujourd'hui 57% de l'ensemble des résidences principales et ont connu une augmentation de leur nombre de 35% sur le dernier quart de siècle (Tableau 17).

Le caractère des logements (principal, secondaire, collectif, individuel) est un élément déterminant d'un projet de rénovation. En effet, il interagit sur le projet notamment sur les mesures fiscales et réglementaires qui l'encadrent. Par exemple, le financement d'une réhabilitation constitue un point crucial de la mise en place d'un projet. Or, les mesures fiscales tel l'éco-prêt à taux zéro mis en place par le gouvernement français sont conditionnées au caractère principal d'une habitation²⁸. Par conséquent, et en dehors de toute considération de revenus des ménages, ce sont potentiellement 5 millions de logements soit 16% du bâti qui sont exclus. Le type de bâti (collectif ou individuel) interfère lui aussi. En effet, la décision de travaux si elle est dépendante d'un seul ménage dans les logements individuels doit faire l'objet d'une concertation et d'un vote entre les différents membres d'une même copropriété. Or, le vote des travaux dans ces immeubles est soumis à un formalisme très strict. Jusqu'à la promulgation de la loi grenelle 2, le vote de travaux visant l'amélioration de la performance énergétique nécessitait la double majorité. Aujourd'hui, une majorité simple, c'est-à-dire la moitié des présents et représentés plus 1 est demandée.

²⁸ Décret n° 2009-344 du 30 mars 2009 relatif aux avances remboursables sans intérêt destinées au financement de travaux de rénovation afin d'améliorer la performance énergétique des logements anciens

Tableau 17 : Les logements en France, segmentation et évolution [CGDD, 2011a].

	Nombres en milliers	%	Evolution entre 1984 et 2009 en %
Parc de logements	33 145	100 %	+ 33 %
Résidences principales	27 849	84,0 %	+ 35 %
Résidences secondaires	3181	9,6 %	+ 28 %
Logements vacants	2115	6,4 %	+ 11 %
Logements individuels	18 849	57 %	+35%
Logements collectifs	14 296	43 %	+ 30 %

➤ La localisation

En-dehors de cette première segmentation, l'emplacement d'un logement peut lui aussi avoir des conséquences. La localisation d'un bâtiment et notamment sa proximité avec des aires urbaines peut limiter l'utilisation de certaines technologies efficaces ou peu émettrices en GES. Par exemple, « *près d'un quart des logements principaux sont situés en zone rurale. Or les sources d'énergies disponibles varient suivant le lieu d'implantation du logement ; de ce fait, en zone rurale – éloignée comme périurbaine, le raccordement au réseau de chaleur urbaine est impossible* » [DAVID et al, 2007]. Si des variations inter-zones sont à remarquer, c'est surtout à l'intérieur de ces dernières que l'influence de la localisation est la plus importante. De fait, les zones sauvegardées, les sites classés, les zones de protection du patrimoine architectural, urbain et paysager (ZPPAUP), mais aussi les zones d'intérêt patrimonial et la proximité d'un monument historique englobe des secteurs plus ou moins grands à l'intérieur desquels la faisabilité administrative d'un projet de rénovation doit être vérifiée [LEVY, 2010]. Enfin la localisation géographique et donc la zone climatique dans laquelle se trouvent les logements (de même que l'altitude de ce dernier) impactent les consommations d'énergie du bâti.

➤ L'âge

L'âge d'un bâtiment est en général un bon indicateur de la performance énergétique de ce dernier. En effet, les réglementations ayant encadré les constructions des logements depuis 1974, les bâtiments, selon leurs époques de construction, voient leur performance énergétique changer du fait de l'utilisation de matériaux et techniques constructives différentes. Ainsi, c'est généralement par rapport aux dates d'apparition des différentes réglementations thermiques que

les logements sont regroupés par l'INSEE. De façon simplifiée nous retiendrons que les bâtiments construits avant 1975 constituent les logements anciens alors que les bâtiments construits après cette date forment le bâti récent [SIDLER, 2007]. De part ces définitions, en 2006, 64% des logements collectifs et 55% des maisons individuelles sont anciennes soit en moyenne 60% du parc de résidences principales (Tableau 18).

Tableau 18 : Résidences principales en France par type de logement et époque d'achèvement de la construction [INSEE, 2011].

	< 1949	1949-1974	1975-1981	1982-1989	1990-1998	1999-2005	Total
Maisons	33 %	22 %	13 %	12 %	10 %	9 %	100 %
Immeubles	25 %	39 %	13 %	7 %	10 %	6 %	100 %
Ensemble	30 %	29 %	13 %	10 %	10 %	8 %	100 %

Les éléments caractérisant un bâti ne sont cependant pas les seuls à interagir sur la performance d'un logement et les possibles travaux de rénovation. Les habitants et en particulier leur « mode d'habiter » constituent eux aussi des critères complexifiant le système.

4.2.2. Des habitants et des modes d'«habiter» différents.

Tous comme les bâtiments, les caractéristiques des habitants d'un logement sont hétérogènes. Deux types de ménages sont généralement distingués selon leur statut d'occupation : les propriétaires et les locataires. En 2009, 57,8% des ménages sont propriétaires de leur logement et ces derniers habitent à 77,5% dans une maison. Les locataires quant à eux se répartissent en majorité dans le parc de logements collectifs et peuvent être subdivisés en 2 grands groupes : les locataires du parc privé (2/3 du parc locatif) et les locataires du parc HLM.

➤ Le statut d'occupation

Le statut d'occupation a une importance capitale lors d'un projet de rénovation. En effet, seuls les propriétaires peuvent engager des travaux visant une meilleure performance énergétique de leur logement. Si ce logement est une résidence principale, les investissements engendrés par de tels travaux peuvent être amortis par une réduction des charges financières (ex : réduction des consommations de chauffage). Lorsque le logement est loué, la « manne » financière imputable à la baisse des consommations d'énergie est récupérée par le locataire. De ce fait, la volonté d'amélioration d'un logement loué par des propriétaires du parc privé reste faible, et ce d'autant plus que la performance énergétique ne constitue pas le principal critère lors du choix d'une résidence par un locataire. La loi de Mobilisation pour le Logement et la Lutte contre l'Exclusion

(MLLE) du 25 mars 2009 permet cependant d'encourager les travaux en secteur locatif. Dans son article 119, elle indique que « lorsque des travaux d'économie d'énergie sont réalisés par le bailleur dans les parties privatives d'un logement ou dans les parties communes de l'immeuble, une contribution pour le partage des économies de charge peut être demandée au locataire du logement loué, à partir de la date d'achèvement des travaux, sous réserve que ces derniers lui bénéficient directement et qu'ils lui soient justifiés »²⁹. Toutefois, cette participation ne peut dépasser la moitié du montant des économies d'énergie estimées ainsi qu'une durée de 15 ans.

➤ Le mode d'habiter

Le mode d'habiter est également à prendre en compte afin de caractériser les éléments du système. « La notion de mode d'habiter est classiquement utilisée afin de mettre en avant la manière dont les individus résident et le rapport à l'espace que ce mode résidentiel exprime. Les modes d'habiter peuvent donc être définis comme étant l'ensemble des pratiques des lieux des individus c'est-à-dire leur style de vie » [STOCK, 2004]. De ce fait, « il n'y a pas une seule et unique façon d'occuper un logement. Celle-ci est déterminée par plusieurs facteurs » [CROZE et al, 2007]. La superficie du logement, le nombre de pièces, la taille des ménages, la durée d'occupation, mais aussi le confort demandé sont des exemples de ces facteurs. En 2010, en France, le nombre de personnes moyen par logement (taille des ménages) est de 2,36. Ce taux diminue régulièrement depuis plus de 30 ans (2,8 en 1978) et est couplé à une augmentation de la superficie des logements. De fait, entre 1978 et 2006, la superficie moyenne est passée de 77 m² à 91 m² soit une progression de 18% (Tableau 19).

Tableau 19 : Evolution de la superficie et du nombre moyen d'habitants des résidences principales entre 1978 et 2006 [INSEE, 2011].

	1978	1984	1988	1992	1996	2002	2006
Surface moyenne par logement (en m ²)	77	82	85	86	88	90	91
Nombre moyen de personnes par logement	2,8	2,7	2,6	2,5	2,5	2,4	2,3

La superficie des logements accessibles à un ménage est amplement dépendante de la catégorie socioprofessionnelle mais aussi de l'âge de la personne référente. En effet, alors que les logements de moins de 40 m² sont habités au tiers par des employés et ouvriers ; les retraités, cadres et professions intermédiaires représentent les 2/3 des occupants des résidences dont la superficie dépasse 100 m². Si l'on s'intéresse à l'âge de la personne de référence, il apparaît alors que 63% des moins de 25 ans habitent dans des T1 ou T2, alors que seulement 17% de la tranche d'âge 25-64 et 13% des plus de 65 ans se trouve dans ces logements. A l'inverse, les personnes les plus âgées

²⁹ LOI n° 2009-323 du 25 mars 2009 de Mobilisation pour le Logement et la Lutte contre l'Exclusion.

(+ de 64 ans) sont en majorité (64%) dans des logements de Type 4 et plus contre 18% des moins de 25 ans (Tableau 20).

Tableau 20 : Résidence principale par type de logements et âge de la personne de référence [INSEE, 2011].

		Moins de 25 ans	25 à 64 ans	65 ans et plus
Ensemble	T1 & T2	63 %	17 %	13 %
	T3	19 %	20 %	23 %
	T4 et +	18 %	63 %	64 %
Maison	T1 & T2	14 %	3 %	4 %
	T3	25 %	11 %	17 %
	T4 et +	61 %	86 %	79 %
Appartement	T1 & T2	70 %	34 %	27 %
	T3	19 %	33 %	37 %
	T4 et +	11 %	33 %	25 %

Enfin, pour terminer ce tour d’horizon des modes d’habiter, un détour par la température des logements est nécessaire. En France, d’après le code de la construction et de l’habitation, « *dans les locaux à usage d’habitation, (...), les limites supérieures de température de chauffage sont, en dehors des périodes d’inoccupation définies fixées en moyenne, (...), à 19° C pour l’ensemble des pièces d’un logement.*³⁰ ». Or la température idéale du logement reste encore aujourd’hui au dessus de celle prescrite par les pouvoirs publics. En effet, pour 41% et 33 % des ménages, la température idéale dans le séjour se situe respectivement à 20 °C et plus de 20°C [DUJIN et al, 2010]. Cette température idéale est de plus variable selon la taille des logements, le type d’habitat, la qualité de l’isolation, et l’emplacement du logement à l’intérieur d’un bâtiment.

Le mode d’habiter au travers de ces premières caractéristiques a de réelles influences sur les objectifs de réduction et le système en lui-même. Par exemple, une augmentation de la superficie des logements et notamment de la partie chauffée entraîne plus de consommation d’énergie. De même, la diminution du nombre de personnes par ménage augmente de façon drastique les consommations par individu. En effet, la consommation d’énergie pour chauffer 4 personnes dans un logement de 75 m² reste considérablement inférieure à la consommation d’énergie nécessaire pour alimenter 4 logements de même superficie abritant une seule personne. Or, le

³⁰ Article R 131-20 du code de la construction et de l’habitation, Livre Ier, Titre III, Chapitre Ier, Section 4.

pourcentage de personnes vivant seules dans un logement augmente avec l'âge des occupants (27,6 % des 65 à 79 ans et 49,3 % des plus de 80 ans vivent seules). Pour ces raisons, certains acteurs plaident en faveur d'une pondération de la performance d'un bâtiment par l'utilisation couplée d'un indicateur en kWh/m²/an et en kWh/habitant/an [OLIVA et al, 2010]. Enfin, l'âge des habitants, mais surtout la durée d'occupation des logements ont une importance sur la décision de travaux énergétiques. En effet, un logement acquis pour une durée inférieure au retour sur investissement des travaux n'invitera pas le propriétaire de ce bâtiment à engager un projet de rénovation et ce d'autant plus qu'il sera âgé. Or au niveau national, la durée d'occupation d'un logement est de 15 ans en moyenne (19 ans pour un propriétaire, 8 ans pour un locataire) et la durée de vie de la population augmente.

De part cette première segmentation, le secteur du bâtiment montre toute sa complexité. Si cette complexité a pour conséquence une adaptation des projets aux caractéristiques et particularités de l'habitat à rénover, elle est aussi synonyme de disparités entre les logements et d'inégalités entre les habitants.

4.3. Des performances hétérogènes.

La performance énergétique est un élément important, montrant de grandes disparités entre les différents bâtis. De fait, les logements selon leur année de construction, leur type (collectif ou individuel), la zone géographique mais aussi leur système de chauffage voient leur consommation d'énergie varier.

➤ L'âge et le type de logement, révélateur de la «qualité» énergétique.

De façon simplifiée, on peut avancer que l'âge d'un bâtiment permet d'approximer sa performance énergétique. En effet, selon son année de construction, un bâtiment est élaboré selon des techniques et matériaux propres à son époque et dont les caractéristiques sont fixées par les réglementations thermiques. En 2008, les résidences principales consommaient en moyenne entre 240 et 270 kWh_{ep}/m²/an. 15% des résidences étaient dites énergivores³¹ c'est-à-dire consommant plus de 450 kWh_{ep}/m²/an et seulement 0,1% atteignaient les 50 kWh_{ep}/m²/an (Figure 30).

³¹ Tous les bâtiments sont énergivores étant donné qu'ils consomment de l'énergie. Cependant dans la suite du texte, le terme énergivore fera référence uniquement aux bâtis utilisant plus de 450 kWh_{ep}/m²/an.

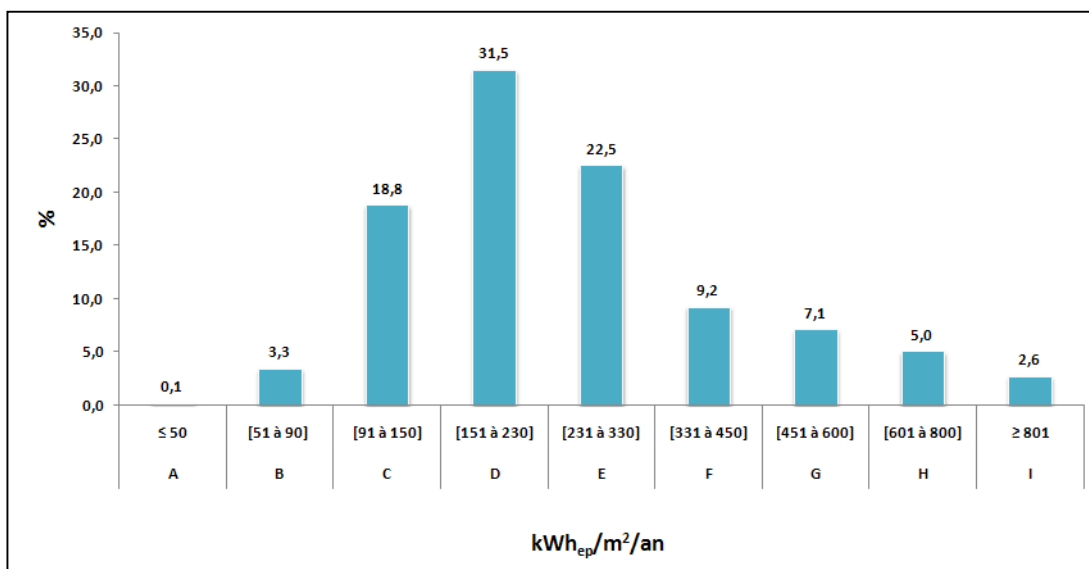


Figure 30 : Etiquette énergie du parc en 2008 (31, 4 Millions de logements) [MARCHAL et al, 2008]

Les bâtiments les plus consommateurs sont en moyenne ceux construits avant 1975. Une maison non rénovée construite avant cette époque consomme en moyenne 2 à 3 fois plus qu'un logement construit respectivement entre 1975 et 2000 et après 2000. Ces facteurs de réduction sont quasi équivalents dans les logements collectifs qui en moyenne consomment près de 375 kWh_{ep}/m²/an (rénovés et non rénovés) (Tableau 21). L'année 1975 marque une période charnière de par l'introduction de la première réglementation thermique. Si cette réglementation a pour effet de réduire les consommations d'énergie, elle entraîne aussi un changement important des modes constructifs. En effet, « les matériaux locaux sont remplacés par des systèmes constructifs dépendant de contraintes économiques et industrielles. Les maçonneries porteuses lourdes ayant une forte inertie thermique font place à des parois porteuses identiques mais de moindre épaisseur. Les parois adaptées à leur fonction et très différenciées selon leurs rôles sont abandonnées au profit de parois standardisées pour une construction donnée » [MECSL, 2007].

Tableau 21 : Moyennes des consommations unitaires d'énergie primaire par tranche d'âge du bâti en 2008 [MARCHAL et al, 2008].

kWh _{ep} /m²/an	Maisons individuelles	Immeubles collectifs
Avant 1975 non rénové	457	456
Avant 1975 rénové	327	250
De 1975 à 2000	224	160
De 2000 à 2007	158	178

Parmi les types de logements, le parc social, avec une consommation moyenne inférieure d'une cinquantaine de kWh_{ep} (198 kWh_{ep}/m²/an) à la moyenne nationale reste le moins consommateurs. De fait, 75% des logements sociaux (46% et 56% en maison et collectif privé) utilisent moins de 230 kWh_{ep}/m²/an et seulement 1% de ce parc dépasse la valeur de 450 kWh_{ep}/m²/an (Figure 31).

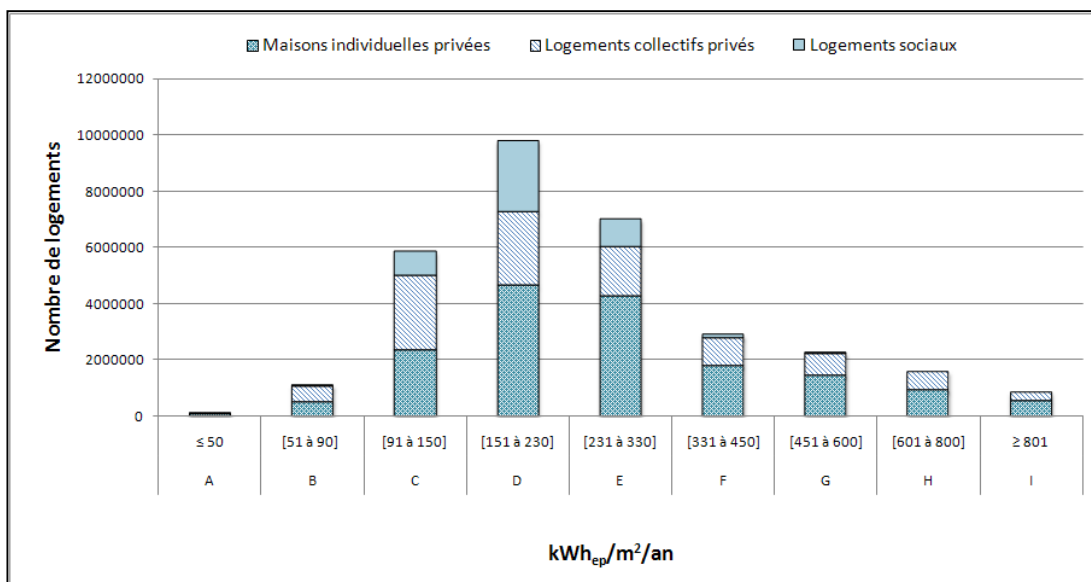
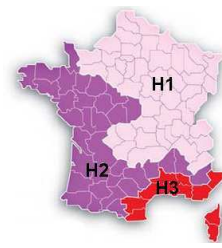


Figure 31 : Etiquette énergie du parc en 2008 selon le type de logement [MARCHAL et al, 2008]

➤ La zone climatique.

Les zones climatiques, de par les différences de températures, notamment en période hivernale ont incontestablement une influence importante sur les consommations d'énergie du parc de bâtiments. Parmi les 3 zones climatiques, la zone H3 située sur le pourtour méditerranéen est la plus chaude et où les consommations sont les plus faibles. Sur cette zone, 50% des logements consomment moins de 150 kWh_{ep}/m²/an (objectif de 2020) et seulement 3% sont énergivores. Les logements énergivores sont à plus de 90% situés en zone H1 regroupant le nord, l'est et le centre de la France soit 60% des logements français (Tableau 22).

Tableau 22 : Proportion de logements par zone climatique [TRAISNEL et al, 2010].

Proportion de logements (%)		
Zone climatique H1	60 %	
Zone climatique H2	29 %	
Zone climatique H3	11 %	

Moins de 1% des logements en zone H1 ont une consommation inférieure à 90 kWh_{ep}/m²/an et aucun n'atteint la classe A [MARCHAL et al, 2008] (Figure 32).

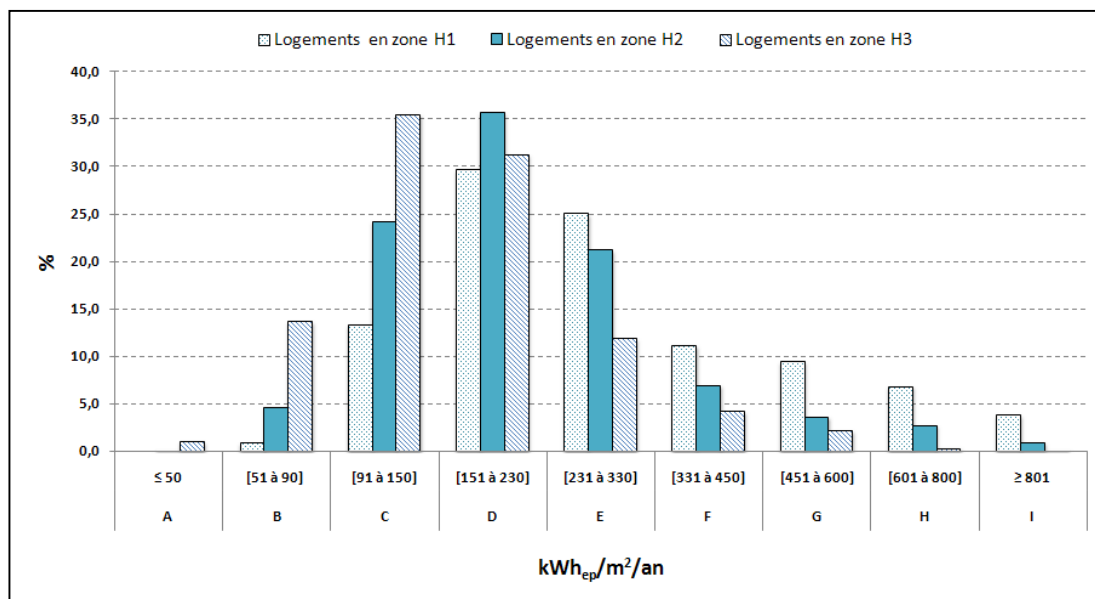


Figure 32 : Répartition des consommations des logements selon la zone climatique (H1, H2, H3) [MARCHAL et al, 2008]

➤ Les modes de chauffage, vecteurs de disparités.

Le mode de chauffage influence lui aussi la performance d'un bâtiment. Comme nous l'avons vu, la consommation d'énergie d'un logement pour son chauffage est largement dépendante de la qualité de l'enveloppe mais aussi de l'efficacité des systèmes employés. Par exemple, une chaudière individuelle au gaz installée avant 1988 aura un rendement de 57% alors que ce dernier sera de 72% pour une technologie similaire mais datée de 2000. Un chauffage électrique utilisant une pompe à chaleur aura un rendement (le « COP » coefficient de performance) proche, voire supérieure à 2 (rendement de 200%) contre 100% maximum pour un chauffage par plancher rayonnant électrique. D'une façon générale, les systèmes utilisant l'énergie électrique ont un rendement local de génération (chaudière, radiateur, ...) supérieur à l'énergie fossile (gaz ou fioul) (Tableau 23). Le chauffage électrique permet donc une plus faible consommation d'énergie finale mais du fait des pertes importantes sur l'ensemble du cycle de l'électricité (production, distribution), ce vecteur se voit affecté d'un coefficient d'énergie primaire de 2,58, ce qui détériore considérablement son bilan en énergie primaire.

Tableau 23 : Rendement moyen de génération des systèmes de chauffage par type d'énergie et date d'installation [TRIBU ENERGIE, 2006]

Type de générateur	Rendement générateur
Chaudière individuelle gaz installée avant 88	57 %
Chaudière individuelle gaz installée entre 1988 et 1999	68%
Chaudière individuelle gaz installée après 2000	72 %
Chaudière individuelle gaz à condensation	80%
Pompe à chaleur air/air	190 %
Plancher rayonnant électrique	100 %

En France, le gaz et le fioul équipent en 2009, 55,1 % des maisons individuelles et 59,1% des logements collectifs [CGDD, 2011b]. Les logements anciens sont en majorité chauffés par des systèmes fonctionnant au gaz (47,2 %) alors que le bâtiment neuf se tourne à plus de 46% vers le chauffage électrique (Figure 33).

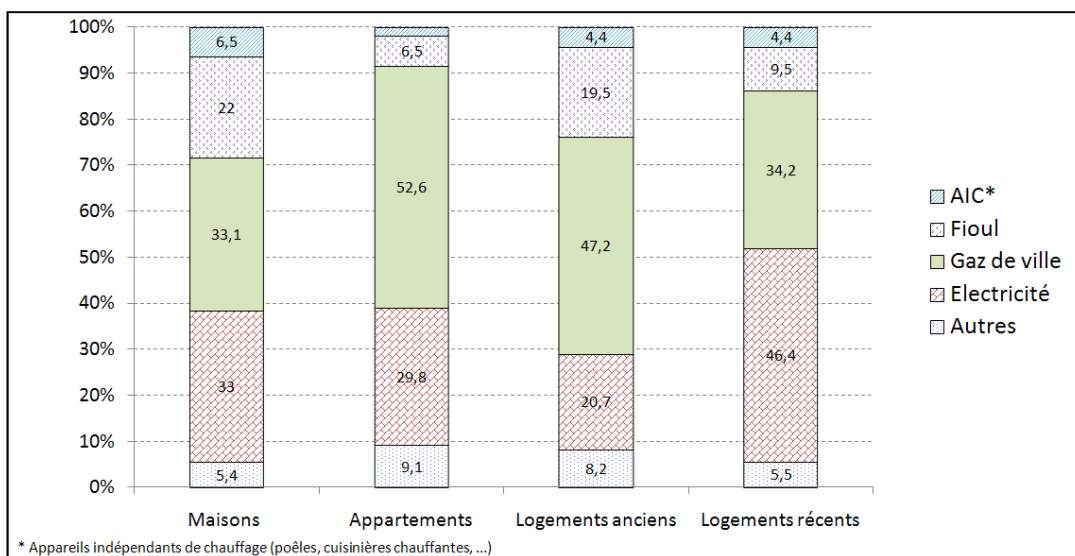


Figure 33 : Part des énergies selon le type et l'ancienneté des logements [CGDD, 2011b]

Ainsi, en moyenne, une maison individuelle utilisant du gaz consomme 220 kWh_{ep}/m²/an contre 317 kWh_{ep}/m²/an pour une maison chauffée à l'électrique. Les systèmes au gaz sont les plus économes avec une consommation de 243 kWh_{ep}/m²/an en logement collectif, 220 kWh_{ep}/m²/an en logement individuel et 193 kWh_{ep}/m²/an en logement social (Tableau 24).

Tableau 24 : Consommation moyenne d'énergie primaire par type de logements et source d'énergie.
[MARCHAL et al, 2008]

kWh _{ep} /m ² /an	Electricité	Gaz	Fioul	Autres
Maisons individuelles	317	220	274	419
Logements collectifs	339	243	/	/
Logements sociaux	222	193	197	

La variation de la performance énergétique des logements selon leurs caractéristiques est grande. Or, si ces disparités impactent les consommations, elles ont de part leur coût des conséquences prévisibles sur la facture des ménages.

4.4. Des conséquences prévisibles sur la facture des ménages.

L'énergie est un poste important de la consommation des ménages. Depuis 20 ans, et malgré une augmentation du prix des énergies, ce budget alloué par les familles, appelé aussi taux d'effort énergétique (TEE), reste relativement stable. Cependant, cette stabilité imputable à l'amélioration des performances énergétiques, due à l'application des réglementations thermiques successives ainsi qu'au développement de nouveaux systèmes de chauffage, ne doit pas faire oublier les inégalités importantes entre les ménages. De fait, les parts consacrées aux dépenses énergétiques du fait de la diversité des caractéristiques et performances des bâtiments évoqués précédemment sont extrêmement variables. Ainsi en 2006, alors qu'en moyenne la part de l'énergie dans le budget était de 4,8%, elle atteignait 6,9% en zone rurale contre 3,3 en région parisienne. Les écarts entre ménages sont cependant les plus importants selon le type de chauffage. Les ménages chauffés au bois et au fioul individuel avec respectivement 5,2% et 8,5% ont le taux d'effort le plus élevé alors que l'utilisation du gaz collectif et des autres types d'énergie conduit à un effort moyen de 2,6 et 2,8% (Tableau 25). L'électricité permet quant à elle de maintenir un TEE assez bas et ce malgré un coût au kWh élevé (0,11€/kWh contre 0,08€/kWh pour le gaz et 0,07€/kWh pour le fioul [MEDDTL, 2011]). Ceci est dû à la faible consommation d'énergie finale des logements utilisant l'électricité qui en moyenne consomment presque deux fois moins que ceux chauffés au fioul ou au gaz [MARCHAL et al, 2008].

Tableau 25 : Taux d'effort énergétique des ménages selon le type de chauffage et le milieu d'habitation.
[MERCERON et al, 2010]

Milieu d'habitation	Taux d'effort énergétique (%)	Type de chauffage	Taux d'effort énergétique (%)
Pôle urbain de Paris	3,3	Electrique	4,1
Ville-centre	4,0	Fioul collectif/individuel	2,9/8,5
Banlieue	4,6	Gaz collectif/individuel	2,6/4,7
Périurbain	5,9	Bois	5,2
Espace à dominante rurale	6,9	Autres	2,8

De même, les écarts et proportions ne sont pas les mêmes selon le niveau de vie des occupants. Les ménages aisés qui ont pu profiter des avantages et progrès techniques dans leur logement ont un taux d'effort inférieur de 1,3 points (4,9 %) à celui des ménages les plus pauvres (6,2 %). Les ménages comptant le plus d'actifs sont les moins pénalisés par le coût de l'énergie alors que les chômeurs ou retraités dépenseront en moyenne 6,9% de leurs revenus (Tableau 26) [MERCERON et al, 2010].

Tableau 26 : Taux d'effort énergétique selon le nombre d'actif et le quintile de niveau de vie.
[MERCERON et al, 2010]

Quintile de niveau de vie	Taux d'effort énergétique (%)	Nombre d'actifs dans le ménage	Taux d'effort énergétique (%)
Q1 (20 % des ménages les plus pauvres)	6,2	0	6,9
Q2	5,7	1	4,4
Q3	5,0	2	4,0
Q4	4,5	3 et plus	4,3
Q5 (20 % des ménages les plus riches)	3,9		

Lorsque le taux d'effort devient trop important ou que les ménages brident leurs besoins en chauffage, ces derniers sont dits en précarité ou pauvreté énergétique. La précarité énergétique a été définie et inscrite dans la loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 (Grenelle II). Est en situation de précarité énergétique au titre de la loi Grenelle II, une personne qui « éprouve dans son logement des difficultés particulières à disposer de la fourniture d'énergie nécessaire à la satisfaction de ses besoins

élémentaires en raison de l'inadaptation de ses ressources ou de ses conditions d'habitat ». Cette précarité, « conjonction d'une pauvreté financière aggravée par un manque de réponses techniques et comportementales » [DEVALIERE, 2007] peut être définie par deux méthodes : la méthode objective et la méthode déclarative (subjective). La première méthode dite objective basée sur la définition anglaise reconnaît un ménage en précarité énergétique dès lors que le taux d'effort de ces familles dépasse les 10%. La seconde méthode dite déclarative consiste quant à elle à interroger les ménages sur leur capacité à chauffer leur logement, et donc sur les éventuelles sensations de froid de ces derniers [DEVALIERE, 2007]. Cette seconde méthode est complémentaire de la méthode objective car elle permet d'identifier les ménages se privant d'énergie et notamment de chauffage afin de restreindre leurs dépenses. En 2011, 14,4 % des ménages ont un TEE supérieur à 10%. Parmi eux, 40% font partie des ménages du premier quartile (20% des ménages les plus pauvres), 20,1% habitent un logement construit avant 1948 et 25,5% ont plus de 65 ans (Tableau 27). En utilisant la méthode subjective sur l'inconfort, le ratio moyen de ménages précaires reste quasi identique (14,8%). Les ménages les plus modestes sont encore une fois très représentés (22 %) ainsi que ceux vivant dans les logements anciens (17,7%) (Tableau 27).

Tableau 27 : Part des ménages en situation de précarité énergétique [DEVALIERE et al, 2011]

Part des ménages déclarant souffrir du froid en %		Part des ménages ayant un TEE > 10% en %	
Ménages du 1er quartile	22,0	Ménages du 1er quartile	40,1
Locataires	25,2	Propriétaires	19,5
Moins de 50 ans	19,1	Plus de 65 ans	25,4
Logements entre 1949 et 1975	17,7	Logements avant 1948	20,1
Agglomérations > 200000 habitants	17,5	Communes rurales	20,8
Habitat collectif	22,0	Habitat individuel	17,1
Ensemble des ménages	14,8	Ensemble des ménages	14,4

Au final, en France, plus de 3 millions de ménages sont en précarité énergétique que ce soit au travers de l'inconfort hivernal ou de contraintes financières. L'environnement humain revêt donc une importance capitale et doit être pris en compte. Ce dernier ne se limite cependant pas aux seuls utilisateurs et habitants des bâtiments. En effet, une multitude d'acteurs intervient lors d'un projet de rénovation, et ce à différentes étapes. Ces acteurs, présentant des rationalités, formations et enjeux très variés.

5. Des acteurs multiples aux diverses rationalités.

De nombreux acteurs interviennent lors d'un projet de rénovation. Du maître d'ouvrage au maître d'œuvre, ou encore de l'entrepreneur à l'habitant, tous ont un rôle à jouer dans l'échiquier qui les oppose aux changements climatiques. Pour « *mettre en échec le changement climatique* » [SEM, 2008], il convient de définir une stratégie à l'avance et de franchir des étapes qui, en cas de succès, permettront de se rapprocher de l'objectif final. Dans cette partie cruciale, chaque pièce (acteurs) a « le pouvoir » de se déplacer librement. Or, les logiques portées par chaque acteur, résultantes des visions et compréhension de l'enjeu ainsi que de leurs rôles dans l'échiquier sont autant d'éléments qui influencent la mise en place des projets et contribuent à complexifier le système.

5.1. Quels acteurs dans le bâtiment ?

Mettre en place une construction ou une réhabilitation est un projet pouvant être mené par un seul acteur si le propriétaire occupant réalise lui-même ses travaux ou par plus d'une dizaine d'acteurs différents, souvent animés par une équipe de maîtrise d'œuvre choisie et rémunérée par le maître d'ouvrage. Ces acteurs, interviennent à différentes phases du projet et impactent l'atteinte des objectifs. Loin de chercher à décrire l'exhaustivité des intervenants, nous abordons ici les acteurs dont la profession et les fonctions au sein de la maîtrise d'œuvre et d'ouvrage sont les plus courantes. Le premier acteur abordé, dont le rôle est primordial est le maître d'ouvrage.

5.1.1. La maîtrise d'ouvrage

La maîtrise d'ouvrage est a minima composée par le maître d'ouvrage (MO). Un maître d'ouvrage est une personne physique ou morale (Etats, collectivités territoriales, Bailleurs, etc.), propriétaire du terrain à construire ou du bâtiment à rénover. Responsable principal de l'ouvrage, « *il lui appartient, après s'être assuré de la faisabilité et de l'opportunité de l'opération envisagée, d'en déterminer la localisation, d'en définir le programme, d'en arrêter l'enveloppe financière prévisionnelle, d'en assurer le financement, de choisir le processus selon lequel l'ouvrage sera réalisé et de conclure, avec les maîtres d'œuvre et entrepreneurs qu'il choisit, les contrats ayant pour objet les études et l'exécution des travaux* »³². Lorsque le maître d'ouvrage est public, sa fonction est d'intérêt général et donc il ne peut s'en démettre. Pour remplir à bien sa mission, et bien que cela ne constitue pas une obligation, le maître d'ouvrage public peut s'il le souhaite se faire aider par un ensemble d'acteurs lui apportant des compétences spécifiques (techniques, juridiques,...) et répondant à la complexité de sa fonction et du projet. Au terme de la loi MOP, 5 partenaires sont définis : le mandataire, le

³² Loi n°85-704 du 12 juillet 1985 modifiée relative à la Maîtrise d'Ouvrage Publique (MOP) et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée.

conducteur de l'opération, le programmiste, l'assistant au maître d'ouvrage et le coordonnateur santé protection sécurité.

- Le mandataire, public ou privé (Organismes HLM, Société d'économie mixte,...) par l'intermédiaire d'un contrat de représentation (mandat) agit au nom et pour le compte du maître d'ouvrage. De ce fait, tout ou une partie des attributions du MO peuvent lui être transmis.
- Le conducteur de l'opération a pour mission d'assister le MO sur les caractères administratifs, techniques et financiers du projet « *en vue de la définition et de la mise en œuvre optimale des moyens nécessaires à la réalisation d'une opération* » [MIQCP, 2006]. Entre autres, il est chargé de la gestion des marchés, du choix du programmiste et du suivi des prestations.
- Le programmiste est un acteur de formations diverses (sociologues, géographes, architectes, etc.) dont les compétences touchent les aspects de l'aménagement et de la transformation du cadre de vie et du bâti. Intégré à des structures publiques, parapubliques ou privés, il supervise « *la démarche de programmation afin d'assurer la nécessaire cohérence entre les desseins du maître d'ouvrage, la commande exprimée auprès du maître d'œuvre, le projet proposé en retour, et les multiples décisions touchant à l'usage futur qui sont prises tout au long du processus de réalisation de l'opération* » [SYPA, 2004].
- Le coordonnateur sécurité et protection de la santé (CSPS) intervient sur les chantiers de bâtiment en phase conception et réalisation afin de veiller à la mise en œuvre des principes généraux de prévention sur les thématiques de sécurité et de santé. Principalement en contact avec les entreprises, il définit les règles du chantier, coordonne les différentes tâches sur ce dernier et met en place les dispositions nécessaires afin de contrôler l'application de ses directives et de la réglementation.
- L'assistant à la maîtrise d'ouvrage (AMO) est un professionnel du bâtiment et vient assister le maître d'ouvrage. Les AMO apportent des compétences généralistes (tout comme le conducteur d'opération) ou spécifiques. Parmi les compétences spécifiques, l'organisme de qualification de l'ingénierie (OPQIBI) distingue 11 qualifications d'AMO (administratif et juridique, technique, développement durable, conduite d'opération,). Lorsque le maître d'ouvrage est un particulier, ce rôle d'accompagnement peut venir d'association, de fondation ou de collectif permettant au propriétaire désireux d'amorcer des travaux énergétiques d'orienter ses choix vers une plus grande efficacité.

Les missions de l'ensemble des prestataires de la maîtrise d'ouvrage sont incompatibles avec celle de la maîtrise d'œuvre, et la loi MOP proscrit leur candidature à cette fonction. La maîtrise

d'œuvre fait en effet intervenir d'autres professionnels dont les rôles complémentaires à ceux de la maîtrise d'ouvrage permettent de répondre aux besoins architecturaux, techniques et économiques de ce dernier.

5.1.2. La maîtrise d'œuvre.

Alors que « le maître d'ouvrage définit dans le programme les objectifs de l'opération et les besoins qu'elle doit satisfaire ainsi que les contraintes et exigences de qualité sociale, urbanistique, architecturale, fonctionnelle, technique et économique, d'insertion dans le paysage et de protection de l'environnement, relatives à la réalisation et à l'utilisation de l'ouvrage », la maîtrise d'œuvre (Moe), elle « est chargée de définir la solution et les moyens techniques qu'elle devra mettre en œuvre pour réaliser, maintenir, voire exploiter le produit fini en conformité avec le cahier des charges établi »³³. Ces missions de conception, d'assistance et de base font l'objet d'un contrat. De par cette définition, la maîtrise d'œuvre ne peut être l'affaire d'un seul homme et en pratique, cette tâche incombe à une équipe classiquement composée d'un bureau d'études techniques (fluides), d'un bureau d'étude structure et d'un économiste. De plus lorsque la surface du projet de construction ou de rénovation dépasse une surface hors d'œuvre nette (SHON) de 170 m², la présence d'un architecte devient obligatoire³⁴.

- Selon la loi de 1977, l'architecture « est une expression de la culture (...). Ainsi, la qualité des constructions, leur insertion harmonieuse dans le milieu environnant, le respect des paysages naturels ou urbains et du patrimoine sont d'intérêt public ». En conséquence, les maîtres d'ouvrage sont tenus sous certaines conditions de faire appel à un architecte. L'architecte du grec ancien ἀρχιτέκτων, est celui qui conçoit le bâti. Qu'il soit libéral, fonctionnaire ou salarié d'un organisme d'études, il intervient sur les projets de construction ou de rénovation que ce soit dans le secteur privé ou public. Il guide et suit les chantiers par la création de plan, la définition des volumes à traiter et le choix des matériaux à utiliser. Il est en général un interlocuteur privilégié entre la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre, bien que sa fonction et son rôle ne constituent qu'une partie de cette dernière.
- L'économiste est un spécialiste du coût. « Fort de ses connaissances économiques, techniques et de son expérience du terrain, il intervient en maîtrise d'œuvre en tant qu'expert afin d'optimiser la conception et la réalisation de tout type de bâtiments en construction ou en rénovation » [UNTEC, 2011]. Ses missions visent entre autres à estimer les coûts d'un

³³ Loi n°85-704 du 12 juillet 1985 modifiée relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée.

³⁴ Loi n°77-2 du 3 janvier 1977 sur l'architecture.

projet, d'étudier les devis des travaux fournis par les entreprises et de vérifier la compatibilité financière de ces dernières avec le budget du maître d'ouvrage.

- La profession d'ingénieur n'est pas réglementée. Selon leurs compétences, ils interviennent sur plusieurs aspects techniques tels que la structure, les fluides ou les aspects thermiques. L'ingénieur structure, vérifie la tenue des différents composants aux contraintes de portance et de solidité de l'ouvrage. Par ces calculs structuraux, il complète le travail de l'architecte et valide les choix constructifs. L'ingénieur fluide, quant à lui, réalise les études relatives au système de chauffage, d'eau et de climatisation. Enfin, le thermicien identifie les postes consommateurs d'énergie et les scénarios les plus à même de les réduire. Les compétences du thermicien et de l'ingénieur fluide sont très souvent regroupées au sein d'un même bureau d'étude.

A ces principaux membres de l'équipe d'œuvre peuvent venir se greffer un acousticien ou un géotechnicien en cas de nuisances sonores ou d'instabilité du sous-sol. Les besoins des futurs utilisateurs peuvent être appréhendés et intégrés à la conception au travers d'une étude par un ergonome. Enfin, l'ambiance du bâti et les contraintes de son environnement (électromagnétisme, réseau Hartmann, ...) peuvent être abordés par l'intermédiaire d'un géobiologiste.

Au-delà de la maîtrise d'œuvre, trois acteurs, de par leur mission ont un rôle important sur le projet, sa coordination et ses objectifs : les entreprises, le responsable Ordonnancement, Pilotage, Coordination (OPC) et le contrôleur technique.

- Les entreprises du bâtiment au travers d'artisans ou de multinationales interviennent sur le gros œuvre ou le second œuvre. Ils mettent en place les solutions techniques et architecturales définies et élaborées par la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre. La qualité de leur prestation notamment lorsque les aspects thermiques sont abordés conditionne grandement la performance et les objectifs d'un projet. Certaines entreprises du bâtiment, et principalement les artisans, sont de plus l'interlocuteur privilégié lorsque le maître d'ouvrage est un particulier. En effet, en l'absence de maîtrise d'œuvre et de tout autre intervenant, leur rôle est décisif quant au choix des travaux à effectuer, des matériaux à employer et des systèmes à utiliser.
- Le contrôleur technique a pour mission « *de contribuer à la prévention des différents aléas techniques susceptibles d'être rencontrés dans la réalisation des ouvrages. Il intervient à la demande du MO et donne son avis sur les problèmes techniques, dans le cadre du contrat qui le lie à celui-ci* »³⁵. Il s'assure entre autres de la solidité et de la viabilité des ouvrages et de leur fondation ainsi que de la sécurité des personnes dans la construction. A ces deux

³⁵ Article L111-23 du code de la construction et de l'habitation. Livre Ier, Titre Ier, chapitre Ier, Section 7.

missions obligatoires, une douzaine d'autres peuvent leur être adjointes parmi lesquelles : le contrôle du fonctionnement des équipements, l'accessibilité aux personnes handicapées, l'application des réglementations thermiques, etc.

- Le Responsable OPC a pour tâche de segmenter un chantier en tâches basiques et d'en déterminer les contraintes (Ordonnancement). Par la suite, pour chaque tâche, il définit les moyens humains et techniques afin de planifier en fonction d'un planning d'exécution, les interventions et successions des entreprises et prestataires sur le chantier (Planification). Enfin, la dernière mission et non des moindres permet de coordonner et de gérer les relations et potentiels conflits entre les différents intervenants (Coordination).

5.1.3. Les phases du projet de rénovation

Du début jusqu'à la fin, un projet de construction ou de rénovation peut être divisé en 6 grandes phases : l'étude préalable, le programme, la sélection des concepteurs, la conception, la réalisation et l'exploitation. Ces phases définies par des textes réglementaires pour les bâtiments publics permettent de repérer les différents acteurs intervenant et leurs interactions notamment sur les aspects énergétiques lors du projet.

- Un projet commence par une **étude préalable**. Le maître d'ouvrage, accompagné s'il le souhaite de prestataires extérieurs (mandataires, AMO, programmiste, ...), définit dans le cas d'une nouvelle construction le site d'étude et la faisabilité de l'opération. Pour ce faire, une analyse multicritères des différentes localisations possibles est réalisée ainsi qu'une première estimation des besoins et de l'enveloppe budgétaire. Cette analyse peut être approfondie par des études complémentaires réalisées par un géomètre et/ou un topographe. Dans le cas d'un projet de rénovation, du fait de l'existence préalable du bâti, le choix du site est imposé. Le choix des prestataires et notamment de l'AMO lors de cette phase peut être crucial, notamment pour la prise en compte des thématiques de performances énergétiques. De fait, l'AMO, en fonction de sa spécialisation et de sa sensibilité aux questions environnementales (AMO HQE, développement durable, ...), orientera les besoins et les exigences du maître d'ouvrage.
- La seconde phase regroupe le **pré-programme et le programme**. Le pré-programme peut être défini « *comme une synthèse des études d'opportunité et de faisabilité, dans l'objectif de clarifier les choix fondamentaux du maître d'ouvrage* » [METL, 2000]. Pour ce faire, le maître d'ouvrage, l'AMO et le programmiste hiérarchisent les cibles à atteindre en fonction de contraintes architecturales, fonctionnelles, techniques et économiques mais aussi environnementales et paysagères. Support de décisions pour le MO,

l'élaboration du pré-programme permet la vérification et la validation des aspects essentiels du projet. D'un point de vue énergétique, la phase de pré-programme est très importante. En effet, c'est à ce moment que les exigences de performance sont définies. De plus, toute remise en cause des niveaux de consommations à atteindre dans les phases ultérieures aura des conséquences non négligeables sur l'économie du projet. Une fois le pré-programme établi, le maître d'ouvrage aidé des prestataires présents, élabore, rédige et valide le programme de l'opération ainsi que les exigences à atteindre (exigences réglementaires, exigences du maître d'ouvrage (esthétisme du site, qualité des ambiances, ...)). Destiné aux acteurs de la maîtrise d'œuvre, « *le programme est l'expression de la commande du maître d'ouvrage* » [METL, 2000]. De ce fait, il prépare à la sélection de l'équipe de maîtrise d'œuvre et permet de vérifier l'adéquation de cette dernière avec les contraintes et besoins de la commande. Enfin, en tant que « mémoire de l'opération », il sert de document de référence en cas de litige avec la maîtrise d'œuvre.

- Suite aux deux précédentes phases, vient la **sélection des concepteurs** du projet. Le MO, accompagné de l'AMO, prépare et envoie l'appel à candidature en cas d'obligation de consultation. Par la suite, lors d'une commission technique, un jury présélectionne les équipes les plus aptes à répondre aux exigences définies dans le programme. Cette phase de sélection de l'équipe de maîtrise d'œuvre constitue elle aussi une étape fondamentale pour l'atteinte des niveaux de performances. En effet, les compétences et l'expérience de la maîtrise d'œuvre détermineront les solutions techniques permettant de répondre aux exigences prédéfinies. Le choix des matériaux, l'amélioration des parois vitrées au détriment des parois opaques ou encore le changement de la ventilation et le traitement des ponts thermiques seront conditionnés par la vision du projet de cette équipe.
- Lorsque l'équipe de maîtrise d'œuvre est choisie, la phase **conception** peut commencer. Cette phase peut être segmentée en 5 parties : l'esquisse, l'avant projet sommaire (APS), l'avant projet définitif (APD), le projet et le dossier de consultation des entreprises (DCE). Les études d'esquisse ont pour principe « *de proposer une ou plusieurs solutions d'ensemble, traduisant les éléments majeurs du programme, d'en indiquer les délais de réalisation et d'examiner leur compatibilité avec la partie de l'enveloppe financière prévisionnelle retenue*³⁶ ». L'APS, l'APD et le projet quant à eux définissent successivement, et par degré croissant de précision, les dispositifs techniques, les matériaux choisis, le planning prévu et le coût du projet. Une fois le projet élaboré, le

³⁶ Décret n° 93-1268 du 29 novembre 1993 relatif aux missions de maîtrise d'œuvre confiées par des maîtres d'ouvrage publics à des prestataires de droit privé, Art. 3

dossier de consultation est transmis afin d'informer et de choisir les futures entreprises qui iront travailler sur le chantier.

- La phase de **réalisation**, comprenant l'assistance aux contrats de travaux permet la sélection des attributaires du marché. Elle est suivie de la phase préparatoire permettant de valider les procédures définitives du chantier. Sur le chantier interviennent les différentes entreprises. Du terrassement au second œuvre en passant par le gros œuvre, les entreprises artisanales ou dépendantes de groupes multinationaux réalisent le projet défini par le maître d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre. La succession des différentes interventions sur le projet (définis par le responsable OPC), mais aussi les compétences et la formation des ouvriers sont capitales pour la bonne mise en œuvre des éléments techniques.
- La sixième et dernière phase courant jusqu'à la destruction ou l'abandon du bâtiment fait intervenir le gestionnaire, les utilisateurs, des entreprises de maintenance et des fournisseurs d'énergie. Cette phase dite **d'exploitation/maintenance** est en général la plus consommatrice en énergie, exception faite des bâtiments passifs voire à énergie positive. En effet, ces derniers ont une consommation d'énergie en phase utilisation inférieure à celle nécessitée lors de la création du bâti. Cette énergie appelée énergie grise « *est l'énergie nécessaire à un service ou à la fabrication d'un bien, incluant l'extraction ou la récolte, la transformation, la commercialisation (emballage, transport, stockage et vente) jusqu'au stade ultime de son élimination* » [BLUGEON, 2002] qu'il convient donc de prendre en compte selon les projets.

Le cycle de développement d'un tel projet et plus généralement l'activité du système peut être représenté au travers de l'axe fonctionnel sous la forme d'un modèle en V [OUMEZIANE, 2005]. Ce modèle constitué de deux branches, l'une descendante l'autre ascendante permet de représenter les étapes d'un projet. Les premières étapes (phases descendantes) préparant les dernières (phases ascendantes). La Figure 34 représente ce modèle appliqué à notre système en montrant pour chacune d'entre elles les relations avec l'axe fonctionnel et téléologique.

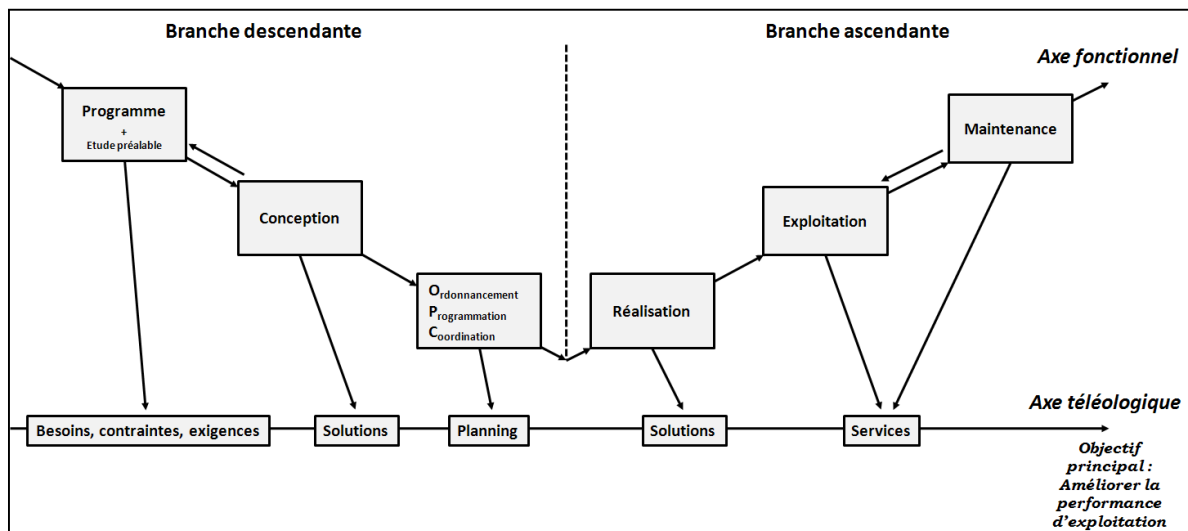


Figure 34 : Représentation en V du cycle de vie du bâtiment et interaction avec l'axe téléologique (inspiré de [OUMEZIANE, 2005]).

Les différentes phases résumées ci-dessus ont une importance capitale pour l'atteinte des objectifs dans un projet. La programmation et la conception, de par la définition des exigences et critères restent, l'une des plus problématiques. Selon l'Agence pour la prévention des désordres et l'amélioration de la qualité de la construction (AQC), 80 % des problèmes constatés résultent de dysfonctionnements d'une de ces deux phases [AQC, 2011]. La définition des exigences restent cependant dépendante des rationalités et enjeux portés par les acteurs. Ces rationalités différentes pouvant conduire à des paradigmes éloignés, sont elles aussi, des éléments à prendre en compte dans le système complexe de la création d'un bâtiment à faible consommation d'énergie.

5.2. Des décisions, des rationalités et des paradigmes différents.

5.2.1. La prise de décision

A chaque phase d'un projet, les décisions prises par les acteurs du bâtiment impactent sur le résultat final. L'acte de décision peut être défini comme le fait d'effectuer un choix permettant de répondre à un problème donné. Trois phases se distinguent lors d'un processus de prise de décision [SIMON, 1983]:

- La première phase dite d'intelligence ou de renseignement représente pour l'acteur la phase de diagnostic. Cette phase de recueil des informations permet au décideur une meilleure compréhension du problème à résoudre. Dans le monde du bâtiment, cette étape peut être représentée par l'étude préalable (Tableau 28).
- La seconde phase de modélisation du problème permet la formalisation du problème à

résoudre par le traitement des informations obtenues lors de la phase précédente. Elle envisage l'ensemble des solutions possibles et leurs possibles conséquences afin d'identifier la plus adéquate. Dans un projet de rénovation, cette phase se rapproche du préprogramme et du programme.

- La phase de choix correspond à un parti pris sur la solution que l'on considère comme étant la meilleure. Cette solution « optimale » prise par un ou plusieurs acteurs peut varier selon le processus décisionnel, les acteurs présents et les intérêts des différents intervenants. La phase de conception d'un projet est la plus proche de cette définition. La maîtrise d'œuvre présentant au travers des esquisses de l'APS et de l'APD, la solution architecturale, techniques, etc. la plus à même à répondre au besoin exprimés par le Maître d'Ouvrage.

A la suite de ces trois phases de la décision intervient alors le processus d'action et donc le chantier et la réalisation du bâtiment lui-même suivis de la phase d'exploitation/maintenance.

Tableau 28 : Phases de décisions et acteurs concernés

Phase de décision [SIMON, 1983]	Phase d'un projet de rénovation ou de construction	Acteurs principaux par phase
Phase d'intelligence	Phase d'études préalable	AMO, MO
Phase de modélisation	Phase de pré-programme et programme	AMO, MO, Programmiste
Phase de choix	Phase de conception (Esquisse, APS, APD, Projet)	Moe (Architecte, BE, économiste)
Phase d'action	Phase de réalisation (chantier)	CSPS, Resp OPC, Contrôleur, Entreprises
/	Exploitation/maintenance	Utilisateurs, entreprises de maintenance, gestionnaire

Chaque prise de décision d'un acteur dont le but est d'identifier la meilleure alternative à l'atteinte d'un objectif est issue d'un processus rationnel. En effet, les décisions descendantes c'est-à-dire faites par un acteur ou un groupe d'acteurs font appel à des rationalités propres à chaque prestataire et intervenant de la décision. En fonction de leur connaissance du problème, de leurs compétences, de leur identité ou encore de leur formation, les solutions apportées seront différentes.

5.2.2. Les rationalités

Pour Simon, dans un processus de décision, l'acteur choisit les alternatives permettant d'atteindre les fins désirées [SIMON, 1983]. Trois éléments interviennent lors de la prise de décisions [BEJEAN et al, 1999]:

- *« L'environnement objectif défini par les hypothèses concernant les états de la nature en dehors de leur perception par les individus ;*
- *L'environnement subjectif défini par la connaissance des états de la nature par les individus, éventuellement par les croyances des individus quant à l'avenir, et défini également par leurs préférences des individus ; l'environnement subjectif renvoie à la position de l'individu face à la réalité, tant dans la perception de cette réalité que dans ses volontés face à cette réalité ;*
- *L'environnement interne de la prise de décision renvoie aux modalités effectives de la prise de décision ; il est défini par les hypothèses concernant le critère de choix, les capacités de calcul et de traitement de l'information des individus. »*

En fonction de ces trois éléments, deux grandes rationalités peuvent être distinguées : la rationalité parfaite ou substantielle et la rationalité limitée.

Le comportement d'un individu est substantivement rationnel *« quand il est en mesure d'atteindre les buts donnés à l'intérieur des limites imposées par les conditions et les contraintes données. Notons que, par définition, la rationalité du comportement ne dépend de l'acteur que d'un seul point de vue - celui des buts. Une fois ces buts fixés, le comportement rationnel est entièrement déterminé par les caractéristiques de l'environnement dans lequel il a lieu »* [SIMON, 1992]. Un individu suivant un tel comportement est doté de capacités cognitives illimitées. De ce fait, l'accès à l'information, le traitement de celle-ci, et le choix d'une solution et de ses conséquences sont connus. L'acteur omniscient tel le Léviathan de HOBBS [HOBBS, 1999] est alors en mesure de définir la solution optimale en fonction des contraintes extérieures qui lui sont imposées. Une telle rationalité aussi séduisante soit-elle est cependant utopique de par son irréalisme notamment en système complexe. En effet, *« la vision selon laquelle l'homme, dans une perspective synoptique, chercherait la meilleure solution à tout problème est beaucoup trop encombrante et fausse. L'être humain est incapable d'optimiser. Sa liberté et ses informations sont trop limitées pour qu'il y parvienne »* [CROZIER et al, 1977]. Dans ce contexte, *« la recherche de solutions ne se poursuit pas jusqu'à une solution optimale ; elle s'arrête lorsque l'agent trouve une solution qui lui semble pouvoir satisfaire ses besoins, c'est-à-dire une solution qui semble correspondre à son niveau d'aspiration »* et de satisfaction [PARTENAY, 2010]. L'acteur ne s'attache alors plus à l'atteinte d'un objectif mais plutôt à la démarche mise en place pour l'atteindre. Cette rationalité limitée a été introduite par SIMON sous le terme de rationalité procédurale. Dans cette

rationalité, certains aspects choisis en fonction des préférences et au détriment de certaines solutions orientent les décisions. Les préférences de chaque acteur ont en effet une influence non négligeable sur la prise de décision.

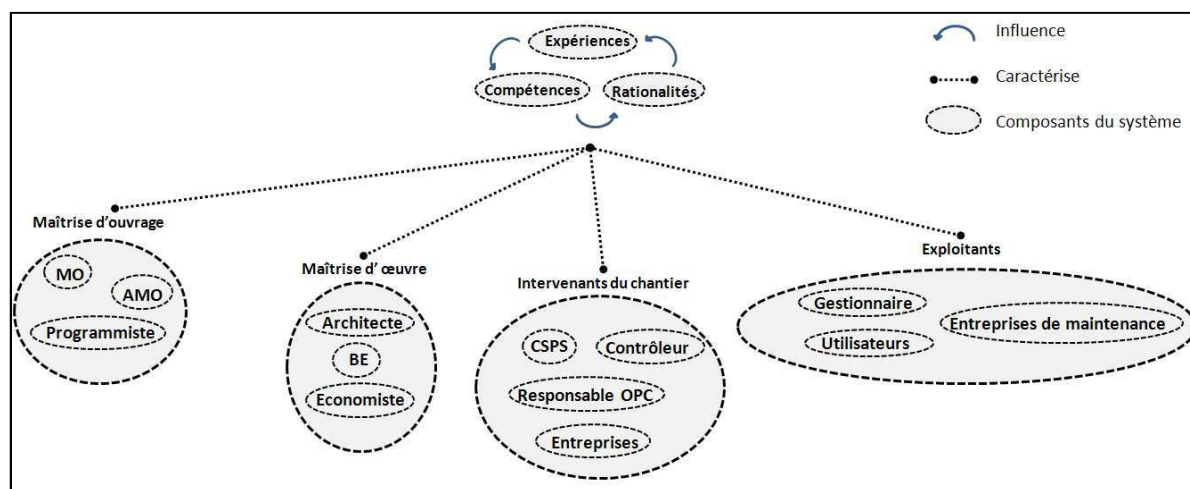


Figure 35 : Représentation schématique du lien entre acteur et rationalité

« Le moment de la décision apparaît comme un processus insaisissable au cours duquel les acteurs de nature différente vont participer à une sorte de décantation progressive des choix (...) » [MULLER, 2000]. Dans cette prise de décision, chacun des acteurs va tenter de faire prévaloir ses propres points de vue résultant de sa rationalité (Figure 35) mais aussi des interactions qu'il aura pu avoir avec les autres participants [MARSAUCHE, 2009]. Dans certains cas, des rationalités identiques regroupent les acteurs en sphère d'influence. Leur culture commune donne naissance à des paradigmes spécifiques formant alors une vision orientée des solutions à apporter au problème rencontré.

5.2.3. Les paradigmes

Un paradigme est un ensemble de convictions, de croyances partagées par un groupe d'individus souvent disparate formant alors une vision commune du monde [DELORO, 2009]. Une telle vision acceptée, et appropriée par des acteurs reste assez rare. En effet, « Il faut à la fois intéresser un plus grand nombre de gens à sa construction pour que l'énoncé se répande, et rendre le comportement de ceux qui le saisissent entièrement prévisible, pour qu'il ne soit pas déformé ou trahi. Ces deux conditions sont évidemment contradictoires : si l'on intéresse beaucoup de gens, c'est en s'approchant au plus près de leurs lubies, passions et croyances, il sera donc d'autant plus difficile d'empêcher qu'ils ne transforment ou discutent profondément l'énoncé. D'un autre côté, si personne n'est intéressé ou enrôlé, l'énoncé ne bougera pas d'un centimètre, demeurant dans la tête de son locuteur un rêve, une lubie, une folie » [CALLON et al, 2006].

Actuellement dans le bâtiment, trois paradigmes sont repérables en vue d'atteindre les objectifs de performance au niveau national [ZELEM et al, 2009].

Le premier paradigme dit de standardisation technologique est basé sur la solution technique universelle développée par Olivier Sidler. Dans ce paradigme, le moteur de l'action est l'objectif du facteur 4 en 2050. En majorité composés d'ingénieurs spécialisés et d'experts en énergie, les tenants de ce paradigme pensent qu'une standardisation des performances du bâti est nécessaire pour atteindre les objectifs. Par conséquent, ils visent une simplification du processus de rénovation par une indifférenciation des modes d'intervention et une réglementation des bâtis anciens (obligation de rénovation).

Le second paradigme, regroupant des associations, des artisans ou encore des ingénieurs, se rapproche par certains aspects du paradigme de standardisation. Cependant et contrairement au premier, *« la santé est pour eux un enjeu majeur du bâtiment, et plus largement au niveau sociétal, car cela concerne aussi bien la mise en œuvre des matériaux que l'utilisation des logements. Les rapports sociaux et notamment la place du facteur humain dans le travail sont une cause première de l'action et pas seulement une conséquence de la situation environnementale ou économique. »* [ZELEM et al, 2009]. Dans ce paradigme, la formation et la sensibilisation des acteurs d'un territoire sont primordiaux et viennent enrichir et réorienter leur culture du bâtiment. En ce sens, ce paradigme est qualifié de ré-volution culturelle.

Le troisième paradigme de l'adaptation économique quant à lui est intermédiaire entre la révolution culturelle et la standardisation. Il s'agit pour les tenants de ce paradigme de *« donner aux professionnels une culture de la rénovation énergétique, valorisée par l'acquisition d'un label, qui leur permettra de devenir des prescripteurs, se différenciant ainsi de leurs concurrents »*. Dans ce paradigme, l'adaptation du secteur du bâtiment aux nouveaux objectifs est nécessaire afin de capter le marché des économies d'énergie. [ZELEM et al, 2009].

Les acteurs, leurs rationalités, les paradigmes auxquels ils appartiennent, le moment de leur intervention dans le projet ou encore leur compréhension du système et de ses caractéristiques influencent la décision et donc le choix des actions et solutions à mettre en œuvre. Ainsi, dans ce contexte, le cheminement préférentiel vers le facteur 4 est donc largement conditionné par l'hétérogénéité du secteur du bâti, par la diversité de ses acteurs et de leurs interactions et donc par la complexité du système bâtiment (**Hypothèse 4**).

Conclusion : Le facteur 4 et le bâtiment, des chemins variables et conditionnés.

La prise en compte de l'impact anthropique sur l'environnement notamment par la définition d'objectifs ambitieux telle que la division par 4 des GES a conduit de nombreux groupes à étudier les facteurs impactants et à proposer des solutions. A partir de 1970, les principaux facteurs tels la population, sa consommation (affluence) et les technologies nécessaires (technologie) pour y répondre ont été mis en avant (Equation IPAT). Se basant sur les deux derniers paramètres, de nombreux scénarios prospectifs (MIES, négaWatt, CLIP, ...) ont été développés dans les années 2000. Ces scénarios, prônant en majorité des comportements plus sobres (sobriété), des systèmes et des structures plus efficaces (efficacité) ainsi que l'utilisation d'énergie peu carbonée (énergies renouvelables, gaz, électricité) ont tenté de définir les possibles chemins à emprunter. Le secteur du bâtiment, en tant que gisement important d'économies d'énergie, a été l'un des plus étudiés notamment à travers la création de nombreux outils tels les labels et les solutions techniques. Les labels du bâtiment axés uniquement sur l'énergie ou plus globalement sur l'environnement ont affiné les objectifs au niveau de chaque bâtiment. Par l'intermédiaire de critères obligatoires ou non, ils ont précisé les usages et actions prioritaires à mener en vue d'atteindre le facteur 4. Les solutions techniques et les réglementations définissent quant à elles les dispositions techniques et les niveaux minimums de performance par usage pouvant conduire à réduire la consommation du bâti. Cependant, loin de converger sur tous les points, ces dispositifs légitimés par l'expérience de leurs créateurs ou par des obligations réglementaires ont contribué de par leurs prescriptions à définir non pas un mais plusieurs chemins vers le facteur 4 (hypothèse 3). Or, ces chemins restent théoriques et leur application largement contrainte par les caractéristiques de chaque bâtiment et la diversité de ses acteurs (hypothèse 4). En effet, l'âge du bâti, son type (collectif, individuel) ou encore sa localisation influencent les niveaux de performances et les solutions pouvant être envisagées. Ces solutions sont elles-mêmes conditionnées par les acteurs du bâtiment. De fait, les MO, AMO, architectes, etc. de par leurs rationalités, leurs compétences, leur culture ou encore la compréhension des enjeux et du système vont modifier le processus de décision, et donc au final les dispositions à mettre en œuvre (Figure 36).

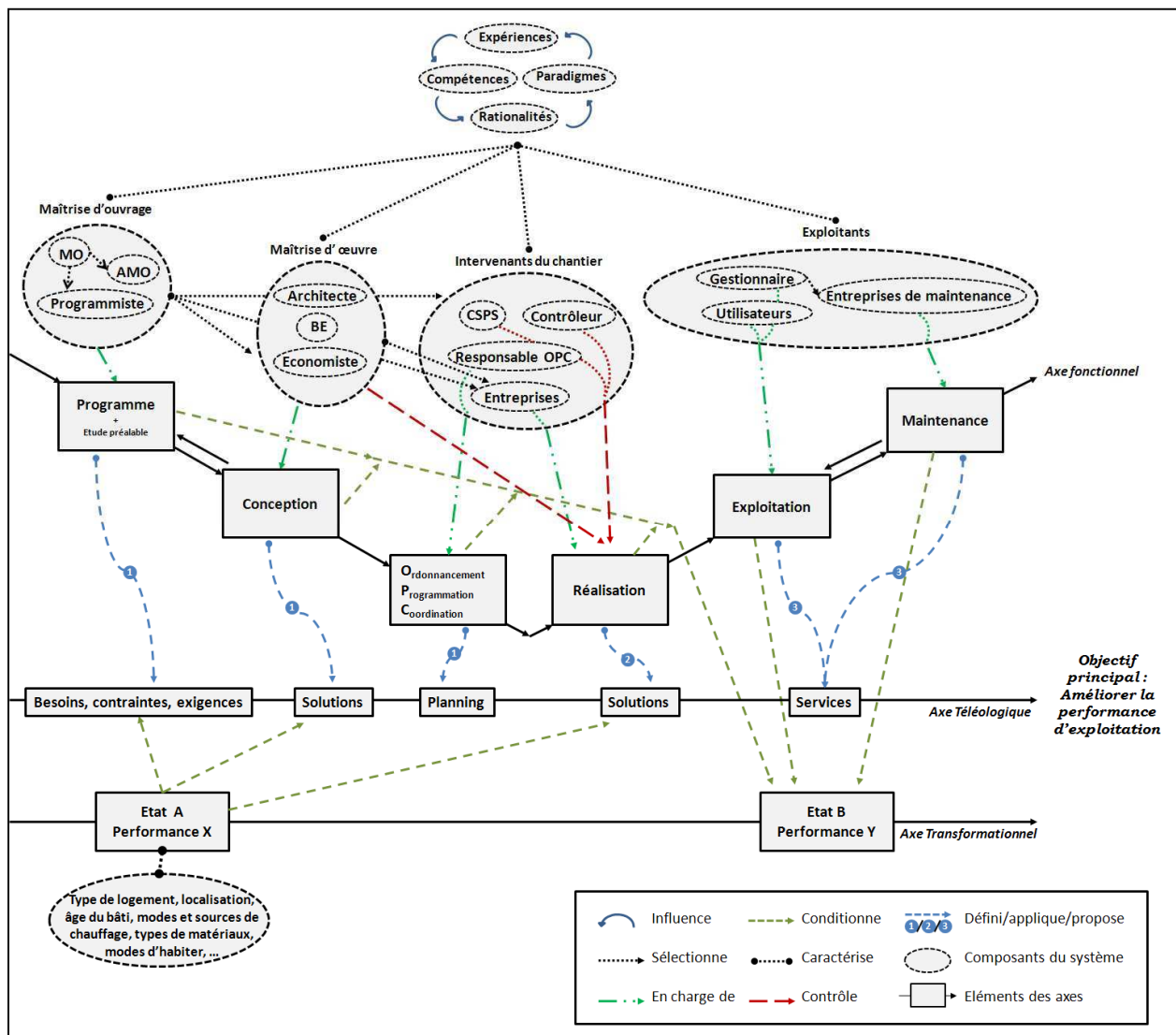


Figure 36 : Représentation du système bâtiment et de son évolution.

Malgré tout, si chaque élément de ce système interfère sur l'objectif, leurs contributions respectives diffèrent. Les chapitres suivant s'attacheront donc au travers d'enquêtes auprès d'acteurs du bâtiment ainsi que par l'étude de 3 projets de rénovations à identifier les éléments freins et leviers à l'application des solutions visant une réduction des consommations d'énergie dans le bâtiment.

Chapitre 3.

Les freins et leviers au facteur 4. Retranscription et analyse thématique des discours d'acteurs du bâtiment.

Le système bâtiment est constitué d'un grand nombre d'éléments contribuant à le complexifier. Les acteurs du bâti (MO, Moe, entreprises, locataires, propriétaires, etc.), constituants humains du système, interviennent aux différents stades d'un projet (conception, réalisation, utilisation, etc.) et interagissent entre eux afin de mettre en place les solutions qui permettront d'améliorer les performances d'exploitation du bâti et atteindre, ou non l'objectif global du facteur 4. Ces solutions sont proposées à différentes échelles (nationale, sectorielle, bâtiment) par l'intermédiaire d'outils (labels, réglementations, solutions techniques, etc.) prônant la réduction des consommations énergétiques. Ces outils guident les réflexions des acteurs selon des démarches pouvant être axées autour de trois axes : la sobriété, l'efficacité et le développement des sources d'énergie renouvelable. Ces axes dont la pertinence est « validée » théoriquement au travers de scénarios prospectifs (Scénario négaWatt, scénario du CLIP, etc.) et de projets exemplaires, mais non retranscrits au niveau régalién doivent aujourd'hui être traduits sur le terrain et à grande échelle par les acteurs du bâtiment. C'est au niveau de cette transposition entre réflexion théorique et applications pratiques et pragmatiques que des limites ou freins au facteur 4 apparaissent. Ces limites, reflet d'un secteur confronté à des objectifs ambitieux (400.000 à 700.000 rénovations « performantes » par an) sont directement liées à l'hétérogénéité des éléments techniques et humains ainsi qu'à leurs interactions. Ce sont ces limites, leur importance (relative), leurs relations avec les éléments du système mais aussi les leviers pouvant les atténuer que nous avons tenté d'étudier et d'analyser dans ce chapitre. Pour y parvenir, la première phase a consisté à mener une série d'entretiens semi-directifs auprès de 20 acteurs ligériens du bâtiment. En parallèle de ces entretiens, le suivi et l'analyse du forum envirobat-mediterranée ont été menés (seconde phase). L'analyse des discussions, et les résultats obtenus (qualitatifs), reflet nous l'espérons le plus fidèle possible des opinions et représentations du système par les enquêtés, ont permis de faire ressortir un grand nombre de freins et leviers au facteur 4. Par la suite, en se basant sur une classification en quatre catégories (techniques, réglementaires, comportementaux, financiers) des freins relevés, une enquête sous format informatique et basée sur un questionnaire fermé a été lancée. Cette enquête, troisième phase de l'investigation, a eu pour objectif d'apporter une dimension quantitative aux discours obtenus durant les entretiens afin de nuancer les réflexions des acteurs et d'estimer dans une certaine mesure « l'importance » et la « pertinence » des catégories de freins et leviers identifiés.

Dans ce chapitre, après avoir décrit les caractéristiques du territoire étudié (Saint-Etienne Métropole) et les méthodes utilisées (échantillon, type d'entretien, etc.) nous présenterons au travers d'une analyse thématique les résultats des enquêtes réalisées. Résultats qui, replacés dans la représentation du système, permettront de répondre à la question suivante: **quels sont les freins et leviers à l'atteinte du facteur 4 dans le bâtiment ?**

1. Saint-Etienne Métropole : spécificités et enjeux.

➤ Le territoire de SEM

Saint-Etienne Métropole (SEM) est un territoire de près de 570 km² étalé des portes de l'Auvergne à la vallée du Rhône (Figure 37). Principale communauté d'agglomération rhônalpine derrière l'agglomération lyonnaise, SEM regroupe près de la moitié des habitants de la Loire autour de sa ville centre : Saint-Etienne. Historiquement composée de 22 communes regroupées en communauté (année 1995), elle se transforme à partir de 2001 en communauté d'agglomération par arrêté préfectoral [SEM, 2010a]. Son périmètre va ainsi s'élargir pour atteindre une taille critique de 43 communes.

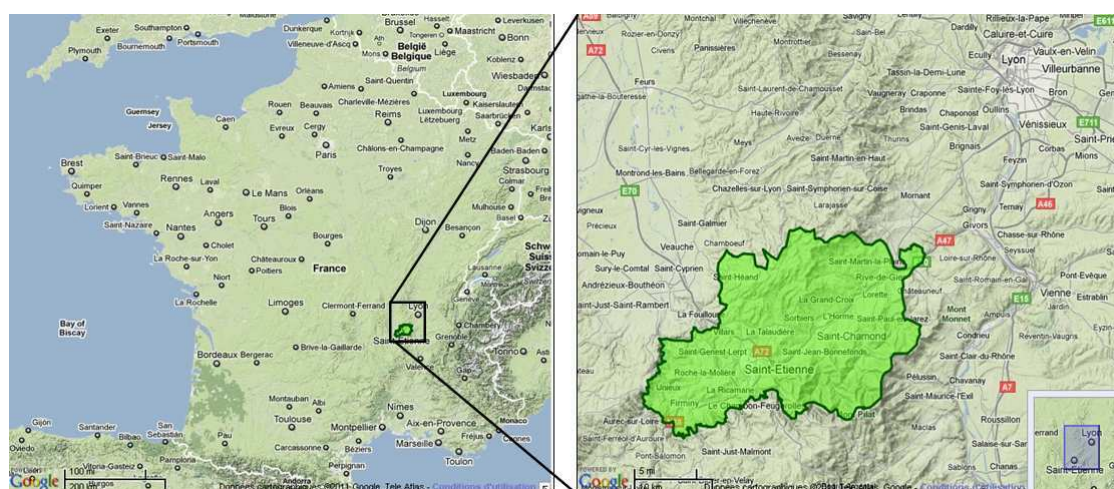


Figure 37 : Localisation géographique de la communauté urbaine de Saint-Etienne Métropole.

Aujourd'hui, Saint-Etienne Métropole, rassemblée autour de trois bassins de vie (Saint-Etienne et sa couronne, Firminy et la Vallée de l'Ondaine ; Saint-Chamond et la Vallée du Gier) constitue, par son activité et son dynamisme, le second bassin d'emploi de Rhône Alpes (Tableau 29).

Tableau 29 : Saint-Etienne Métropole en quelques chiffres [SEM, 2011].

2ème agglomération de Rhône-Alpes
390 000 habitants / 43 communes
2ème bassin d'emploi au sein de la Région Urbaine de Lyon
569,7 km ² / 56 970 hectares
Plus de 11 000 entreprises : le plus important réseau de PME-PMI de France
70 % des emplois de la Loire

« *La conviction de l'unité humaine, économique et sociale* » [SEM, 2010b] des différents acteurs de cet espace consolidé par une histoire commune ont largement participé à créer cette dynamique. Aujourd'hui, comme la plupart des grandes agglomérations françaises, elle se doit de maîtriser son avenir. Cependant, dans un contexte d'incertitude tant économique que climatique, ses plans d'action et stratégies pour l'avenir doivent être orientés vers plus de « durabilité ». L'objectif de l'agglomération est d'assurer aux acteurs de son territoire, et à travers ces derniers à Saint-Etienne Métropole, une place parmi les grandes agglomérations françaises. Dans cette optique, SEM s'est engagée dès 2002 dans une politique de développement durable à travers un agenda 21. Programmé pour une durée de 3 ans, l'agenda 21 comportait 4 axes et 23 actions englobant des domaines importants et en continuelles interactions : l'économie, le social et la protection de l'environnement. Les problématiques environnementales ont par la suite été actualisées et renforcées par la mise en place d'une démarche de plan climat actée le 13 octobre 2008 par une délibération du conseil communautaire. Axée notamment sur les thématiques énergétiques (consommations d'énergie) et climatiques (réduction des émissions de gaz à effet de serre), cette démarche s'insère dans la stratégie nationale de lutte contre le réchauffement climatique.

Les réponses apportées par les plans climats énergies territoriaux (PCET) et les efforts demandés à chaque secteur nécessitent cependant des préalables pouvant assez bien être résumés par la maxime suivante : « Pour savoir où l'on va, il faut savoir d'où l'on vient ». Ainsi, la connaissance des émissions du territoire, les consommations d'énergie, ainsi que leur évolution passée doivent être intégrées et connues afin de définir une stratégie adéquate des efforts à fournir. Dans cette optique, un cadastre des émissions du territoire de l'agglomération a été réalisé afin d'élaborer un plan d'action sectoriel.

➤ **Les émissions de SEM et le secteur du bâtiment.**

Le territoire de Saint-Etienne métropole, en majorité calqué sur l'ancien bassin minier stéphanois, a connu une grande variation des origines de ses émissions. Le secteur industriel, de par l'extraction du charbon et le développement de la métallurgie était dans le passé, le principal secteur d'émissions de GES et de pollution de l'air. Aujourd'hui, les mutations économiques amorcées depuis plusieurs décennies sur le territoire, ont considérablement modifié cet état de fait. Les pollutions toujours présentes, sont réparties comme pour la majorité des agglomérations entre les 4 principaux secteurs : l'agriculture, les transports, l'industrie et le résidentiel-tertiaire.

Les différents diagnostics commandés par SEM depuis 2007 ont permis de quantifier l'impact des différents secteurs sur la base de trois gaz à effet de serre : CO₂, CH₄, N₂O. De plus, une approche énergétique a été couplée au cadastre des émissions permettant ainsi d'intégrer l'impact de l'énergie électrique. Ainsi en 2008, l'agglomération stéphanoise a émis 38% du total des

émissions de la Loire soit approximativement 2165 Kt_{eq}CO₂ [AMPASEL, 2011]. Le dioxyde de carbone est le gaz à effet de serre majoritairement émis avec 84% du total, suivi par le méthane (11%) et le protoxyde d'azote (5%). L'étude de l'origine des émissions montre une corrélation importante des combustibles fossiles pour les émissions de CO₂ alors que le méthane et le dioxyde d'azote sont réciproquement imputables au stockage des déchets et à l'élevage/culture. Au niveau sectoriel, le bâtiment et les transports totalisent près de 60 % du total des émissions (30 % pour le transport, 29 % pour le résidentiel) faisant de ces deux secteurs les plus gros contributeurs (Figure 38). L'industrie contribue encore assez fortement avec 22% des émissions alors que l'agriculture et le secteur tertiaire se partagent les quelques 20% restants (Tertiaire : 13% ; Agriculture 6%).

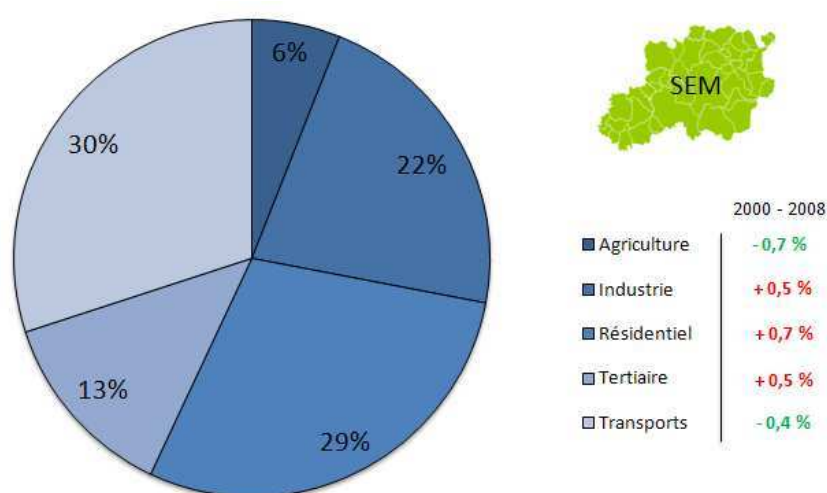


Figure 38 : Répartition sectorielle des émissions de CO₂ sur le territoire de SEM.

Ces données, fournies par l'Association de Mesure de la Pollution Atmosphérique de Saint-Etienne et du département de la Loire (AMPASEL), montrent de plus qu'entre les années 2000 et 2008, seuls les secteurs de l'agriculture et du transport ont connu une baisse de leurs émissions. En revanche, trois autres contributeurs dont le bâtiment ont vu leurs émissions augmenter.

Le secteur du bâtiment intervient de façon prépondérante dans les émissions de GES du territoire, et comme nous le verrons par la suite, fait l'objet d'actions de réduction parmi les plus importantes. La forte proportion du bâtiment dans les émissions de SEM est largement imputable aux caractéristiques du bâti sur cette zone. Essentiellement collectif (72% des logements), les bâtiments ont été construits en majorité (70% des logements) avant la première réglementation thermique de 1975. La part la plus importante des logements individuels dans les zones extérieures au secteur de Saint-Etienne (Figure 39) est imputable à la périurbanisation des pôles

urbains provoquée par un phénomène de desserrement³⁷.

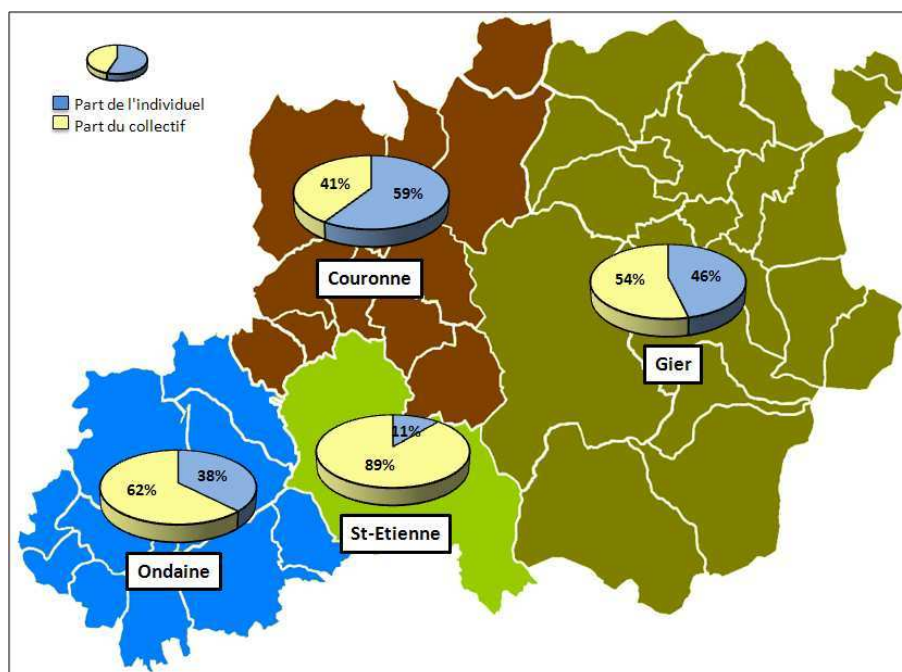


Figure 39 : Répartition des logements collectifs et individuels sur le territoire de SEM (inspiré de [EPURES, 2011])

En effet, les villes les plus peuplées telles que Firminy, Saint-Etienne ou Saint-Chamond ont vu leur population diminuer de près de 20% entre 1975 et 1999 au profit des zones périurbaines. Cette « fuite » des populations en dehors des villes centres a contribué à augmenter le taux de vacances des logements de plus de 22% ; ce taux atteignant actuellement 9% soit 2% de plus que la moyenne régionale [INSEE, 2007]. Malgré la perte de population et le taux de vacances élevé dans certaines villes, la progression du parc de logement s'est maintenue à plus de 1,5% et du fait de la périurbanisation s'est concrétisée par la construction de logements individuels (+ 18500 résidences principales entre 1990 et 2008) [INSEE, 2007] [EPURES, 2009]. Les actions engagées par l'Etablissement Public d'Aménagement de Saint-Etienne (EPASE) ainsi que par l'Agence Nationale de Rénovation Urbaine (ANRU), subventionné par des financements de l'Etat tentent d'inverser ses tendances et de promouvoir la réhabilitation de certains quartiers stéphanois. Malgré tout, logements collectifs anciens, périurbanisation, construction de logements individuels et perte de population caractérisent le bâti de Saint-Etienne Métropole et expliquent sa forte contribution aux émissions de gaz à effet de serre ainsi que les objectifs définis pour ce secteur au travers du plan climat.

³⁷ Le desserrement réfère ici au départ des ménages les moins aisés qui, à la recherche de logements plus adaptés et de plus d'espace, quittent le cœur des villes pour s'installer en périphérie.

➤ Les objectifs du plan climat, ses acteurs et la place du bâtiment

La finalité de tout plan climat-énergie-territoire concerne la lutte contre les effets du changement climatique. Pour cela, deux objectifs transversaux ont été établis par la communauté d'agglomération de Saint-Etienne Métropole. Le premier objectif vise une atténuation des impacts du territoire sur le climat par la réduction de ses émissions de GES. Le second objectif subodore l'hypothèse qu'en dépit des actions engagées et ce, quelle que soit l'échelle d'étude, les impacts négatifs du changement climatique auront lieu. Ainsi, dans cette perspective, une adaptation des territoires afin de réduire sa vulnérabilité future a été identifiée comme objectif à part entière de l'agglomération.

Pour tendre vers ces objectifs, l'agglomération stéphanoise est signataire de la convention des maires, et par ce fait oriente sa stratégie en cohérence avec le paquet énergie climat (3x20) adopté en 2008 par le Parlement et le Conseil Européen (Encart 8). Ainsi, près de 450 ktCO₂ devront être évités à l'échéance 2020 [KRAFT et al, 2010].

Encart 8 : Le contexte européen, des 3x20 à la feuille de route « Energie 2050 »

Responsable en 2010 de près de 14% des émissions mondiales de GES, l'Union Européenne, et à travers elle ses pays membres, fut l'une des premières à s'engager vers une économie industrialisée respectueuse de son environnement. Suite au protocole de Kyoto et à l'objectif de moins 8% d'émissions de GES sur la période 2008-2012, une série de propositions fixant des objectifs ambitieux à l'horizon 2020 fut adoptée en décembre 2008. Regroupé au travers d'un objectif commun dit « 3x20 », un ensemble de textes législatifs (Paquet Energie-Climat) a été promulgué dans l'optique d'une lutte croissante contre le changement climatique. Trois grands objectifs furent ainsi définis :

- Une réduction de 20% des émissions de GES par rapport à 1990
- L'atteinte d'une part d'énergies renouvelables supérieure ou égale à 20% de la consommation d'énergie finale
- Une amélioration de 20% de l'efficacité énergétique.

En 2011, et dans une optique d'amélioration continue des objectifs, la feuille de route « Energie 2050 » fut publiée [CE, 2011]. Illustrant une voie possible vers le facteur 4 à l'horizon 2050, six scénarios axés sur l'efficacité énergétique (réduction de 30 à 40% des consommations) et l'utilisation poussée d'énergies renouvelables (40 à 60% du mix européen) ont vu le jour. Les différents scénarios développés, s'ils montrent la faisabilité des objectifs mettent cependant en avant plusieurs limites. Notamment, « *il n'existe ni énergie sans inconvénients, ni scénario idéal, ni*

trajectoire idéale pour atteindre les objectifs. Chaque scénario implique des choix entre différents avantages et inconvénients, ... Certains scénarios ne sont envisageables qu'au prix de révolutions dans les comportements individuels et sociaux ainsi que des actions ciblées et couplées par l'ensemble des partenaires sur les secteurs les plus émetteurs » [PERCEBOIS, 2012].

Dans cette optique, et principalement dans le secteur du bâtiment, la directive 2002/01/CE du Parlement Européen et du conseil du 16 décembre 2002 sur la performance énergétique des bâtiments renforcée en 2010 par la directive 2010/30/UE constitue un outil d'atteinte des objectifs et un support pour un transfert du niveau européen au niveau national comme territorial.

Pour atteindre de tels résultats, un programme d'action a été élaboré. Issu d'une concertation entre les principaux acteurs des secteurs contributeurs aux émissions de GES, le programme d'actions cible 3 échelles d'interventions et 6 thématiques [SEM, 2011].

Le premier niveau d'opérabilité des actions concerne l'échelle interne avec la mise en place d'actions exemplaires visant à réduire les impacts de l'entité administrative que représente SEM, notamment celle issue de l'utilisation de son patrimoine immobilier ou encore du traitement de ses déchets. La seconde échelle d'intervention : l'échelle des politiques publiques métropolitaines vise à travers le champ statutaire de l'agglomération à réduire les impacts sur le territoire. Enfin, Saint-Etienne Métropole ne pouvant agir seule, une échelle externe a été définie. L'échelle externe regroupe actuellement plus de 60 partenaires socio-économiques sur le territoire. Ces derniers, par la signature de la charte d'engagement au PCET, s'engagent ainsi que leurs structures à élaborer en interne une stratégie leur permettant, au côté de Saint-Etienne Métropole, d'atteindre les objectifs du plan climat.

Ce programme ciblant les 3 échelles d'intervention a nécessité la mise en place d'un plan d'action axé sur six thématiques phares et pouvant regrouper les divers acteurs du territoire. Ces 6 thématiques sont les suivantes : l'urbanisme et l'aménagement du territoire, l'agriculture et la sylviculture, le transport, la gestion des déchets, l'habitat et les bâtiments ainsi que l'économie et l'innovation. L'ensemble des acteurs institutionnels, économiques, ou associatifs du territoire ont été invités à travers des comités techniques, de pilotage stratégique et de pilotage élargi à échanger et élaborer des actions sur les 6 thématiques. Les principales missions de ces comités peuvent être résumées comme suit [SEM, 2011]:

- « Le comité technique a pour objectif de définir et orienter la méthode, de mesurer sa validité opérationnelle, de suivre l'élaboration du Plan Climat afin d'en vérifier sa pertinence en termes de résultats. »

- « Le comité de pilotage stratégique a quant à lui pour mission d'arrêter le dispositif de concertation, de fixer les objectifs et les moyens d'action du Plan Climat et d'arbitrer les choix budgétaires inhérents au projet. »

Au travers de ces comités et devant les caractéristiques et la forte contribution du bâtiment aux émissions, ce secteur s'est vu attribuer des objectifs de réduction parmi les plus ambitieux. En effet, avec une réduction de plus de 212 kTCO₂ de ses émissions, le bâti de SEM (résidentiel + tertiaire) contribue au travers des scénarios et actions proposés à près de 50% des objectifs du plan climat (Figure 40).

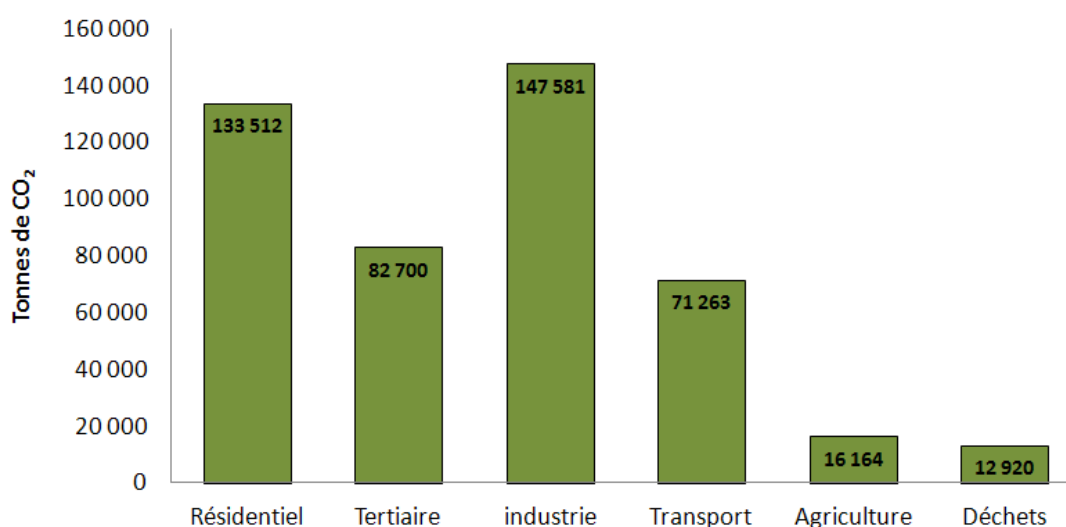


Figure 40 : Participation des secteurs d'activités à l'objectif général des -20% [KRAFT et al, 2010].

Atteindre de tels niveaux passe par une rénovation du parc bâti représentant 5000 logements/an dans le résidentiel et 40% de la surface des bâtiments tertiaire à l'échéance 2020 (Encart 9).

Encart 9 : Des actions ambitieuses et pourtant encore insuffisante.

Dans le cadre de son plan climat territorial, SEM s'est adjoint les services d'un bureau d'études en vue d'effectuer une mission d'expertise technique pour l'évaluation a priori des actions envisagée par le plan climat. L'analyse des scénarios proposés montre qu'actuellement l'ensemble des actions engagées peinent à réduire les émissions de GES de plus de 16%. Dans le secteur du bâtiment, les 5000 rénovations évoquées constituent un objectif supérieur de 42% au scénario volontariste. Cela montre l'extrême difficulté pour atteindre les objectifs de -20% du plan climat et par conséquent l'effort considérable à accomplir par les collectivités pour une contribution permettant d'obtenir au niveau national le facteur 4 (-75% des émissions de GES).

L'engagement des collectivités territoriales tel que SEM mais aussi des acteurs du territoire dans de tels processus de réduction des émissions des GES et des consommations d'énergie les place au premier rang des acteurs clefs, notamment dans le secteur du bâtiment. En effet, SEM par ses compétences statutaires en matière d'aménagement de l'espace communautaire, d'équilibre social de l'habitat permet de mobiliser et d'accompagner les acteurs et leurs actions vers des objectifs adaptés au territoire et en cohérence avec les objectifs européens. Ces acteurs professionnels et/ou économiques constituent des maillons indissociables de toutes approches visant à réduire les émissions d'un territoire et plus spécifiquement d'un secteur comme le bâtiment. Par conséquent, une démarche d'investigation au travers d'entretiens a été développée et employée auprès des acteurs ligériens du bâtiment. L'objectif de cette démarche vise à relever les possibles leviers et freins à l'atteinte du facteur 4 évoqués par ces acteurs sur le territoire spécifique de SEM.

2. Démarche d'investigation

Afin d'identifier les freins (et par la suite les leviers) à l'atteinte des objectifs du facteur 4 dans le bâtiment, une démarche d'investigation en trois temps a été utilisée. La première phase a consisté à étudier au travers d'entretiens semi-directifs, les propos recueillis auprès d'acteurs ligériens (pour leur majorité) du bâtiment. En parallèle, un suivi des discussions et échanges d'informations et savoirs entre les membres d'un forum de discussion axé sur la qualité environnementale du bâti (envirobat-méditerranée) a été mené. Ces deux premières phases ont permis d'identifier un certain nombre de freins et leviers aux objectifs poursuivis par le système bâtiment. Enfin, dans une troisième phase et afin d'apporter des nuances quant à l'importance des freins et leviers, un questionnaire informatique a été envoyé auprès d'un échantillon plus large d'acteurs. Les résultats de ces questionnaires ont été traités au travers du logiciel d'analyse statistique SPAD® 4.51 afin de nuancer les résultats qualitatifs par une analyse quantitative. La Figure 41 représente les différentes phases de la démarche suivie.

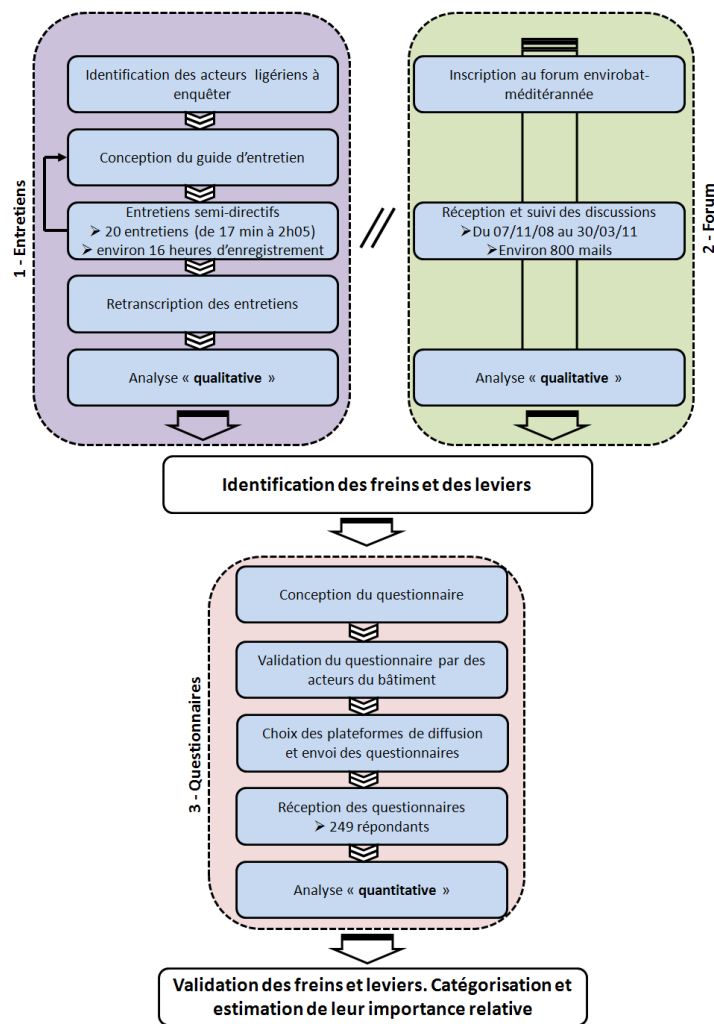


Figure 41 : Principales étapes et méthodes d'investigation suivies

2.1. Enquête qualitative auprès des acteurs professionnels du bâtiment.

Les entretiens qualitatifs constituent le premier point de notre démarche d'investigation auprès des acteurs. L'enjeu de ces enquêtes était d'analyser au travers d'entretiens, la représentation du système par les acteurs, leur repère normatif ainsi que leurs interprétations des difficultés rencontrées lors de projet de bâtiments performants. Cette analyse a eu pour but d'identifier par l'intermédiaire des discours tenus, les principaux freins et leviers rencontrés par les enquêtés vis-à-vis de l'atteinte de l'objectif du facteur 4.

➤ Cible des enquêtes : les acteurs du bâtiment.

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, le nombre d'acteurs intervenant dans un projet de rénovation est important. Dans le cadre des entretiens, nous avons choisi d'interroger

des acteurs qui semblaient, de par leur profil (architecte, bureau d'étude, association, ...), leurs caractéristiques et leur profession, avoir les compétences et expériences suffisantes pour l'identification des freins et leviers. Les acteurs interrogés ont tous participé (directement ou indirectement), que ce soit en phase conception, réalisation ou utilisation à un projet de bâtiment performant. Les acteurs ciblés ont été répartis en deux groupes : les acteurs du « macro-système » c'est-à-dire les acteurs « institutionnels » et les acteurs du « micro-système » qui agissent au niveau du bâtiment en lui-même. Notons ici que l'échantillon constitué, limité pour la majorité des entretiens aux acteurs ligériens³⁸ du bâtiment, ne vise aucune représentativité de l'ensemble de la profession au sens statistique du terme. Ce choix nous permet de donner un cadre territorial concret à nos enquêtes. De plus la sélection d'acteurs spécifiques et fortement mobilisés dans la Loire permet selon nous de refléter les réelles difficultés rencontrées par des acteurs tentant de répondre aux problématiques énergétiques et environnementales.

Les demandes d'entretiens ont été réalisées par mail via un envoi direct sur la messagerie des acteurs présélectionnés. Le contenu du message envoyé précisait la demande, son cadre, l'objectif de l'entretien et les modalités (entretien physique ou téléphonique). Chaque message a été accompagné d'un accusé de réception afin de garantir la lecture de la demande et d'écarter les adresses de messagerie invalides. Un délai de réponse de 15 jours a été laissé à chaque acteur avant que ne soit envoyée une relance. Ainsi, sur 31 demandes d'entretiens effectuées, 20 acteurs ont répondu par l'affirmative et ont fait l'objet d'un entretien. Le codage des personnes interrogées, le genre et leur profil au sein de leur organisme d'appartenance, est précisé en annexe 1.

➤ **Méthodologie d'enquêtes : des entretiens qualitatifs semi-directifs.**

L'objectif principal d'une enquête menée auprès d'interlocuteurs n'a pour autre finalité que la production de connaissances sur un domaine donné. Si le choix de la bonne méthode peut être cornélien, nous retiendrons que le principal facteur de sélection se fait par « *une cohérence entre le niveau de la vision théorique (métathéorique, plus précisément) et celui de la méthode de recueil des données* » [DE SINGLY, 2006].

Le choix de la démarche adoptée pour les entretiens auprès des acteurs du bâtiment s'est porté sur une enquête qualitative en face à face (ou entretien téléphonique). Le choix d'un entretien direct auprès des personnes sollicitées a été privilégié à l'envoi d'un questionnaire écrit, et ce pour deux raisons. Tout d'abord, l'objectif de l'enquête était d'explorer les freins et leviers à l'atteinte des objectifs du facteur 4 en prenant en compte le point de vue d'acteurs hétérogènes du

³⁸ Le terme ligérien fait ici référence aux acteurs de la Loire et plus précisément aux acteurs de la communauté d'agglomération de Saint-Etienne Métropole.

bâtiment. De ce fait, les questions posées devaient montrer une certaine modularité, ce qui rendait dans un premier temps inenvisageable l'utilisation de questionnaires écrits dont les formulations n'auraient pu être adaptées à chaque acteur. La modularité des questions, bien que cadrée par un guide d'entretien était de plus une condition sine qua non à l'approfondissement des points abordés. En effet, l'acteur interrogé devait pouvoir se sentir libre de développer son raisonnement, d'exprimer ses points de vue et de les illustrer par des exemples sans qu'aucune contrainte liée à la forme d'un support écrit ne vienne limiter ses propos. En conséquence, la méthode de recueil des informations devait pouvoir laisser une liberté quant à la succession des questions, ce qui n'était rendu possible qu'au travers d'entretiens. Ces derniers permettant alors d'instaurer « *un véritable échange au cours duquel l'interlocuteur pouvait exprimer ses perceptions d'un évènement ou d'une situation, ses interprétations ou ses expériences* » [QUIVY et al, 2006]

Parmi les méthodes d'entretiens existantes, le caractère semi-directif a été privilégié. L'entretien semi-directif est certainement le plus utilisé notamment en recherche sociale. « *Il est semi directif en ce sens qu'il n'est ni entièrement ouvert, c'est-à-dire non structuré, ni canalisé par un grand nombre de questions précises. Ainsi, il permet de laisser venir l'interviewé afin que celui-ci puisse parler ouvertement, dans les mots qu'il souhaite et dans l'ordre qui lui convient. Le chercheur s'efforçant simplement de recentrer l'entretien sur les objectifs chaque fois qu'il s'en écarte et de poser les questions auxquelles l'interviewé ne vient pas par lui-même, au moment le plus approprié et de manière aussi naturelle que possible* » [QUIVY et al, 2006]. De manière générale, le caractère plus ou moins directif d'un entretien varie en fonction des objectifs de l'enquêteur et de son désir d'explorer, d'approfondir, de vérifier ou de contrôler une situation donnée [FERREOL et al, 1993].

Les entretiens semi-directifs ont pour principal avantage de laisser une grande souplesse au déroulement de la discussion tout en apportant de la profondeur dans les réponses recueillies. Cependant, le chercheur doit prendre garde à conserver une cohérence entre les propos tenus et les objectifs poursuivis. Enfin, une telle méthode de par les informations obtenues et la démarche employée n'appelle pas aisément d'analyse spécifique telle que l'analyse de discours par exemple.

➤ **Les thématiques abordées : la création du guide d'entretien semi-directif.**

Comme nous l'avons brièvement introduit dans la partie précédente, les entretiens semi-directifs se caractérisent « par des questions, non formulées à l'avance, mais dont les thèmes sont précisés » [GRAWITZ, 2001]. Ces thèmes sont regroupés et spécifiés à travers l'utilisation d'un guide d'entretien. Le guide d'entretien a pour objet d'orienter l'enquêteur vers les objectifs qu'il poursuit en lui apportant un support physique souple, c'est-à-dire, lui laissant une grande liberté quant au déroulement de l'enquête. Dans notre cas, le guide d'entretien a été structuré sur le

modèle IDPA développé et utilisé plus particulièrement dans le cadre d'audit patrimonial [OLLAGNON, 1987]. Le modèle IDPA est constitué de quatre phases : Identification, Diagnostic, Prospective, Amélioration.

- Le premier registre du guide dit de l'Identification invite l'acteur auditionné à présenter sa vision du système bâtiment, sa place dans celui-ci ainsi que les objectifs prioritaires qu'il perçoit. Il permet, par un repérage et un positionnement des constituants du système sous un angle propre à l'enquête, d'identifier les éléments humains et techniques et leurs interactions pouvant limiter l'atteinte des objectifs du facteur 4 par le système.
- Le second registre du Diagnostic explore les démarches menées par l'interviewé mais aussi par les autres acteurs du système. Il fait ressortir l'apport de ces actions pour la résolution du ou des problèmes soulevés. Ce second registre permet entre autre à l'acteur de replacer et retracer ses actes et donc ses interactions avec le système.
- Le troisième registre de la Prospective amène l'enquête à indiquer les dimensions temporelles et spatiales étant les plus à même de conduire à la résolution des problèmes. Il est alors demandé à la personne auditionnée de construire dans la mesure du possible et de ses connaissances trois scénarios montrant l'évolution souhaitée, redoutée et probable du système. Cette mise en perspective permet alors à l'enquêteur de ressortir des propos d'acteurs, les motivations profondes de ces derniers, mais aussi les enjeux et « déviances » possibles de la situation actuelle.
- Enfin le registre de l'Action, permet par la reprise des éléments freins soulevés précédemment, d'identifier les actions et instruments disponibles ou à créer, c'est-à-dire les leviers considérés comme efficaces pour la résolution des problèmes. Ces leviers sont définis par leur capacité à modifier l'état du système afin de le faire cheminer d'une situation initiale (actuelle) vers une situation prospective conforme à l'objectif souhaité (par exemple le facteur 4).

La souplesse du guide permet des transitions entre les différents registres qui n'ont pas forcément vocation à se suivre. Les registres et les thématiques qu'ils abordent servent alors davantage à mettre en lumière et à représenter sous différents angles la représentation du système par les acteurs.

De façon plus pragmatique, les quatre registres ou thématiques sont construits autour de trois grands types de questions. Le premier type que nous nommerons question principale ou générale permet d'amorcer la discussion. A l'issue de cette question, l'acteur est alors libre de faire évoluer l'entretien et d'aborder les points qu'il juge pertinent. Cependant, dans certains cas et quand cela

s'avère nécessaire, deux autres types de questions peuvent être posés : les questions complémentaires et de clarification. Ces deux derniers types n'ont pour autre rôle que d'approfondir ou éclaircir certains éléments de réponses abordées de façon évasive ou qui auraient suscité une difficulté de compréhension par l'enquêteur. Les principaux registres, thématiques et questions du guide d'entretien sont présentés en annexe 2.

➤ **Les entretiens et leur déroulement.**

Les entretiens auprès des acteurs du bâtiment ayant répondu ont été effectués en majorité sur leur lieu de travail. Dans le cas où un face à face était impossible, une discussion téléphonique a été programmée (2 entretiens). Le jour de la rencontre, une introduction de l'enquêteur couplée à une présentation des objectifs de l'entretien ont été effectuées. Un enregistrement de l'interview via un dictaphone numérique et sous couvert d'anonymat a été proposé et accepté par la majorité des personnes auditionnées (14 au total). En cas de refus ou d'impossibilité, une prise de note rapide a été menée. Au total 20 acteurs issus d'institutions et de professions engagées à différents niveaux à la promotion ou l'application des économies d'énergies dans le bâtiment ont été entendus par un unique enquêteur entre avril et juin 2010³⁹. La durée des entretiens consentis par les enquêtés s'est échelonnée sur une durée allant de 17 min à 2h05, soit plus de 16 heures de discussion et une moyenne d'environ 50 minutes par rencontre.

➤ **Analyse et retranscription des contenus des discours d'acteurs.**

A la suite des entretiens, la retranscription des discours tenus par les personnes auditionnées a été effectuée. Ces paroles d'acteurs ont alors été codées afin de permettre l'analyse des réponses. Deux attitudes peuvent être adoptées lors de la phase de codage et dépendent majoritairement du type de questions posées. Lorsque « *les questions sont fermées, le code est établi à l'avance ; à chaque question correspond alors une variable et à chaque réponse une modalité* ». En revanche, si « *le questionnaire comprend des questions ouvertes, le code est élaboré a posteriori. Dans ce cas, il repose sur un inventaire des réponses données débouchant sur un regroupement* » [DE SINGLY, 2006] . En raison du caractère semi-directif des entretiens, et de l'utilisation exclusive de questions ouvertes, un codage après retranscription des paroles d'acteurs a été choisi. Chacune des réponses a donc été « classée » au sein de trois thèmes (ou parties) correspondant à notre problématique. La première partie tente de repérer la vision du système bâtiment et de ses objectifs par les acteurs. La seconde et la plus riche, regroupe principalement les limites ou freins identifiés pour l'atteinte des objectifs du système et notamment du facteur 4. Enfin, la troisième partie issue en majorité du contenu des

³⁹ Il est ici à noter que certaines institutions (ADEME, CSTB, ...) n'ont pu être enquêtés et ce malgré l'envoi des deux demandes d'entretiens.

réponses aux registres de la prospective et de l'amélioration, s'axe sur les leviers d'action abordés par les acteurs. Ces parties ont par la suite été enrichies et complétées par les informations issues des discussions menées au sein du forum envirobat-méditerranée, le suivi de ce forum ayant constitué le second temps de la démarche d'investigation.

2.2. Analyse et suivi du forum participatif, un complément aux entretiens.

Les phases d'identification et d'approfondissement des freins et leviers à l'application des objectifs du facteur 4 dans le bâtiment se sont faites pour partie par l'intermédiaire du suivi d'un forum de discussion sur internet. *« Les forums de discussion sont des espaces numériques qui permettent à des utilisateurs de gérer des activités intellectuelles collectives, que ce soient des simples discussions ou des processus complexes de résolution de problèmes ou d'aide à la décision. Les forums de discussion sur l'internet offrent à celui qui les analyse la possibilité d'observer de nombreux phénomènes intéressants, autant du point de vue des formes de cognition collective que des possibilités de gestion coopérative par les acteurs de leurs activités et communautés »* [MARCOCCIA, 2001].

➤ Choix du forum.

Les forums de discussion axant leur thématique autour de la performance énergétique dans le bâtiment sont « légions » sur la toile. Ouvert à tous, ils rassemblent un public divers désireux de partager leurs connaissances, leur savoir et leurs expériences passées ou en cours. Les thématiques abordées sont multiples. De la pose d'un bardage à la finition d'un enduit, en passant par l'application de nouveaux décrets, toutes les questions touchant de près ou de loin au bâti peuvent être posées. Le choix d'un forum au profit d'un autre reste ardu. De ce fait, dans le cadre de cette étude, le choix du forum s'est axé sur quatre critères : la gratuité de l'accès à l'information, l'ancienneté du forum, la « vitalité » de ce dernier, et enfin la diversité et le nombre d'individus professionnels du bâtiment permettant de légitimer les propos retenus.

Parmi les forums identifiés au travers d'une recherche par mot clefs, le groupe de discussion sur la qualité environnementale bâtiment/urbanisme de l'association envirobat-méditerranée nous a semblé le plus à même de répondre à ces critères. Ce forum ou groupe de discussion rassemble plus de 800 membres inscrits au travers d'une démarche personnelle ou dans le cadre de leur activité professionnelle. Créé le 6 mars 2001, le groupe de discussions permet à chacun des membres d'échanger leurs avis et leurs points de vue au travers de la liste de discussion. L'inscription au groupe a eu lieu en Novembre 2008 et le suivi des échanges s'est déroulé jusqu'au mois d'Avril 2011. Ainsi, sur cette période, ce sont plus de 200 discussions mensuelles transmises via 800 e-mails qui ont été analysées.

➤ Le forum envirobat-méditerranée et son analyse.

Le forum internet envirobat-méditerranée « regroupe des professionnels au sens large du bâtiment et de l'aménagement du territoire des régions méditerranéennes, de Rhône-Alpes (Ville et Aménagement Durable) ainsi que d'autres régions souhaitant dialoguer avec eux » [2Dbat, 2011]. Le but premier du forum de discussions est de promouvoir et favoriser la qualité environnementale dans le bâtiment ainsi que les « bonnes pratiques » de construction et rénovation. Pour cela, il encourage la diffusion des savoirs, des informations et des expériences entre les différents acteurs professionnels du bâti.

Pour ce faire, les messages adressés au forum sont stockés depuis la création du groupe (Mars 2001), permettant à tous membres, nouveaux comme anciens d'accéder au listing des interventions. Ces interventions consignées par dates, auteurs, et sujet sont numérotées par ordre chronologique d'apparition. Un moteur de recherche permet alors d'atteindre de façon aisée les informations et discussions souhaitées. D'une manière générale et sur un modèle commun à de nombreux forums, « cette liste de messages se structure et se hiérarchise en séquences au fur et à mesure des enregistrements de messages. Ainsi, lorsqu'un participant consulte la liste, après avoir ouvert un message déjà posté, il a deux possibilités : rester un simple lecteur (il lit des messages mais n'en poste pas) ou bien poster un message » [MARCOCCIA, 2004]. Dans ce second cas, le message posté par l'internaute vient selon les cas créer une nouvelle discussion ou en alimenter une préexistante. De ce fait, les membres du forum peuvent tour à tour être producteurs ou récepteurs de l'information partagée. Afin de ne pas perturber et influencer les échanges, en tant qu'observateur du forum, nous sommes restés simples lecteurs des messages postés.

Ce sont ces messages recueillis qui ont été analysés. « L'analyse des forums de discussion repose souvent sur une démarche qui consiste à appliquer des catégories d'analyse définies pour l'étude du face-à-face aux échanges médiatisés par ordinateur » [MARCOCCIA, 2004]. Dans notre étude, nous avons cherché au travers des discussions, des compléments aux différents points abordés par les acteurs lors des entretiens semi-directifs. L'avantage d'une telle démarche peut être résumé en deux points :

1 : L'étude des forums permet d'éviter l'influence de l'enquêteur sur l'enquêté et d'approfondir une idée à un niveau de détail bien supérieur à ce qu'un entretien direct pourrait fournir. En effet, le temps consacré à un sujet est potentiellement illimité, contrairement aux entretiens dont la durée dépasse rarement 1 heure (50 minutes en moyenne dans notre cas).

2 : Alors que les entretiens ont un contexte territorial fort (Saint-Etienne Métropole et la Loire), les forums sont composés d'acteurs sensibles aux problématiques énergétiques et

environnementales mais de localisations diverses. Cette diversité dans les origines géographiques permet alors d'observer si les données des entretiens (Démarche d'investigation phase 1) sont spécifiques ou non au territoire étudié.

En revanche, les thèmes abordés restent aléatoires, et soumis au « bon vouloir » des acteurs et à leur préoccupation du moment. De plus, certains internautes de par leur capacité à communiquer interagissent de manière plus intense dans le forum. Occupant « le terrain » de la discussion, ils orientent les thématiques et y participent activement. De ce fait, dans le forum étudié, une faible proportion de l'information recueillie est réellement utilisable, et cette information est souvent le fait de quelques individus.

Les messages sélectionnés dans les forums ont été rajoutés aux données recueillies lors des enquêtes et ont permis de développer les contenus des trois parties susmentionnées (la vision du système bâtiment, les freins à l'application des objectifs et enfin les leviers d'actions possibles). Pour recouper ces informations, nous posons ici l'hypothèse suivante : les entretiens et l'étude du forum ayant été réalisés par la même personne, des liens entre propos issus de différences ressources peuvent être créés par cette dernière. D'un point de vue pratique, le recueil des paroles d'acteurs que ce soit par l'intermédiaire des forums ou des entretiens analysés seront présentés sous un format identique et viendront illustrer les résultats. Néanmoins, afin de faciliter l'identification de la provenance de l'information, un code alphanumérique sera utilisé pour les entretiens et les compléments apportés par les forums. Le code employé est constitué de 3 parties. La première partie est composée de la lettre F ou E respectivement pour Forum et Entretien. La seconde partie présente le type d'acteur (architecte, économiste, institution, etc.). Enfin un numéro vient compléter le code afin de différencier les acteurs d'un même type (Tableau 30). Dans le cadre du forum, cette dernière partie sera remplacée par la date de l'envoi du message ainsi que par l'identité de l'acteur⁴⁰.

Tableau 30 : Illustration du discours d'acteur et codage de la source

<p>« Peut-être devrions-nous plus simplement réfléchir à écrire un nouveau langage, commun aux deux professions. Et donc commencer par apporter à chacune de ces deux professions les rudiments du langage de l'autre, à savoir demander aux étudiants architectes d'effectuer un stage chez un énergéticien, et aux étudiants énergéticiens d'effectuer un stage chez un architecte. » <i>(F-BET-Armand Dutreix- 25/03/2009).</i></p> <p>« Parfois on justifie une réhabilitation très performante en contre partie d'une baisse des charges et on s'aperçoit dans certains cas qu'il y a tromperie car les résultats ne sont pas atteints ». <i>(E- INST-1)</i></p>

⁴⁰ Dans le cadre des forums, chacune des citations et mention du nom de l'auteur a fait l'objet d'une demande d'autorisation de diffusion auprès de la personne concernée.

2.3. Questionnaires par internet, une analyse « quantitative » des freins et leviers à « la performance » des bâtiments.

Comme nous venons de le voir, les phases 1 et 2 de la démarche d'investigation ont eu pour vocation de recueillir, de façon exploratoire et qualitative, les propos d'acteurs du bâtiment dans le but principal d'identifier les freins et leviers à l'atteinte des objectifs de performance énergétique. La troisième phase construite autour d'un questionnaire diffusé par internet est la résultante des deux premières et se base sur leurs résultats. L'objectif du questionnaire vise à nuancer les discours retenus par une analyse « quantitative ».

➤ Construction et validation du questionnaire.

Le questionnaire est une méthode qui exige de la standardisation. Sa fonction de base consiste à poser des questions sous différents formats (questions ouvertes ou questions fermées). Le choix de ces questions dépend de l'objectif poursuivi. En effet, *« au-delà des problèmes de coût, la stratégie d'enquête face aux questions ouvertes et aux questions fermées renvoie à deux types d'enquête, l'une plus centrée sur le test d'hypothèses précises, l'autre plus attentive à la complexité du réel. Malgré tout, quelle que soit l'option retenue, le questionnaire comprend une majorité de questions fermées qui seront améliorées si ces deux procédures sont adoptées :*

- *Procédure n°1 : Procéder au préalable à des entretiens afin de recueillir la palette des catégories mentales et de mots utilisés par des personnes dont le profil social correspond à celui des individus de l'échantillon pour l'enquête quantitative.*
- *Procédure n°2 : Prévoir, dans la liste des réponses, une catégorie « autre » avec de la place pour ces réponses libres « imprévues » [DE SINGLY, 2006].*

Dans le cadre de notre recherche, l'intérêt de l'utilisation du questionnaire consiste à valider, confirmer, infirmer et/ou nuancer les résultats des enquêtes qualitatives. De ce fait, les questions utilisées sont majoritairement fermées et centrées sur les freins et leviers préalablement identifiés par les acteurs du bâtiment lors des entretiens et échanges sur le forum (Procédure n°1). Le choix de questions fermées basées sur les résultats des enquêtes qualitatives préalables entraîne deux conséquences majeures sur le questionnaire. Premièrement, les questions en tant que transposition des propos d'acteurs adoptent le plus souvent des postures normatives, c'est-à-dire des partis-pris, des jugements par rapport à une norme. Ces postures ne sont cependant pas limitantes étant donné que nous cherchons à corroborer ou non des propos préalablement recensés. Deuxièmement, le questionnaire reste très enfermant. L'acteur interrogé n'a qu'une possibilité limitée de réponses. Ceci est inhérent aux questions fermées. Pour atténuer cet effet d'imposition d'une problématique, deux « dispositifs » sont intégrés au questionnaire : tout

d'abord, une catégorie « autre, ne sais pas, ou sans opinion » est proposée dans certaines questions fermées (Procédure n°2) (Tableau 31)

Tableau 31 : Exemple d'atténuation de l'effet d'imposition

<p>Q23) Une obligation de rénovation thermique des bâtiments existants est-elle nécessaire pour l'atteinte du facteur 4 dans le bâtiment ?</p> <p><input type="radio"/> Oui</p> <p><input type="radio"/> Non</p> <p><input type="radio"/> Ne se prononce pas</p>

Enfin, après une série de questions, l'ajout d'une zone de commentaires libres permet aux répondants de s'exprimer de façon plus approfondie sur certains points abordés, ou d'apporter des nuances qu'un choix de réponses par modalités « oui ou non » n'aurait pu exprimer.

Au final, 39 questions fermées ont été proposées. Dix de ces questions sont retranscrites au travers d'une formulation permettant, via des « filtres intermédiaires », un renvoi. Ce renvoi dirige alors selon la modalité sélectionnée vers des « sous-questions optionnelles » (Par exemple Q10a, Q10b, etc.) ou bien vers la question suivante (Tableau 32).

Tableau 32 : Exemple de filtres intermédiaires dans une question.

<p>Q10) Avez vous déjà entendu parlé du facteur 4 ?</p> <p><input type="radio"/> Oui</p> <p><input type="radio"/> Non (Passer à la question Q11)</p>

Les 39 questions de l'enquête sont présentées au travers de 6 parties (Annexe 3). Ces parties introduites via un entête permettent d'amorcer de façon synthétique la problématique principale abordée par un groupe de questions. Ainsi, la première fraction intitulée : « Vous et les autres acteurs », est composée de 9 questions et s'intéresse à la représentation du système par les acteurs. Les parties 2 à 5 présentent, selon les cas, de 5 à 12 questions et abordent certains aspects (aspects normatifs, financiers, etc.) ainsi que des freins et leviers recueillis lors des entretiens semi-directifs. Enfin, un sixième et dernier regroupement, faisant office de conclusion, clôt le questionnaire par un positionnement relatif des catégories de freins préalablement abordées. Il est important ici de souligner que les problématiques illustrées par les questions, ainsi que leur nombre ne représentent qu'une partie de l'information recueillie lors des entretiens. En effet, « dès le départ, le questionnaire est à plusieurs titres un compromis. Compromis sur l'étendue et la profondeur du domaine étudié, qui implique un choix entre les questions essentielles possibles et celles que l'on sacrifie pour assurer la sécurité de l'ensemble » [GRAWITZ, 2001]. La sécurité de l'ensemble fait référence au contenu même des questions, à leur compréhension mais aussi au temps nécessaire pour y répondre. La durée du questionnaire est un point crucial pouvant influencer le taux de retour. De ce fait, le

nombre de questions posées a été calibré afin de maintenir un temps de réponse inférieur à 10 minutes par questionnaire.

Le questionnaire terminé, une version « test » a été envoyée à 5 acteurs du bâtiment. Les retours de ces derniers axés notamment sur la compréhension générale des questions, les possibilités de réponses, et la durée du questionnaire ont donné suite à des modifications. Ainsi, c'est un questionnaire dans une seconde version modifiée qui a été transmis à un nombre plus large d'acteurs du bâtiment.

➤ **Mode d'administration de l'enquête et échantillonnage.**

Le questionnaire a été administré via une page HTML créée par l'intermédiaire de l'outil Google documents. Google documents est une interface permettant l'édition et le partage d'informations (feuilles de calculs, documents Word, présentation Power Point, questionnaires, etc.) sur internet. D'un point de vue technique, l'éditeur ne nécessite aucune connaissance en programmation et permet la création aisée et rapide d'un questionnaire. Les réponses envoyées par les acteurs sont directement retranscrites dans un classeur Excel et récapitulées sous format graphique. L'utilisation d'une feuille Excel est particulièrement appréciable lors de l'étude statistique de l'échantillon, les modalités étant déjà formatées pour leur future exploitation.

Une fois créé, le questionnaire est accessible sous la forme d'une page web. L'étape suivante consiste donc à informer le corpus sélectionné de l'existence du questionnaire. Trois méthodes de diffusion de l'information existent [GUEGUEN, 2000]:

- La première méthode utilise l'envoi de courriers électroniques aux adresses de messagerie de l'échantillon retenu. Les courriers présentent alors au travers de quelques lignes, l'administrateur de l'enquête, ses objectifs et invite les acteurs à se rendre à l'adresse internet du questionnaire.

- La seconde méthode se rapproche de la première mais utilise des listes de diffusion (de forums ou plateformes du bâtiment par exemple) sur des thèmes ciblés (énergie, bâtiment durable, qualité environnementale, etc.). L'intérêt de telles listes est de pouvoir atteindre un nombre de personnes plus important. En contre partie, les enquêtes sont souvent affublées d'un faible taux de retour.

- Enfin la dernière méthode consiste à déposer sur un site donné une invitation à répondre au questionnaire. L'affluence du site, la visibilité de la demande, sont alors des éléments importants à prendre en compte. Néanmoins, si cette méthode est intéressante, le contrôle des répondants reste difficile. En effet, l'accessibilité du questionnaire au travers du site n'est pas garantie ; des

individus non ciblés pouvant alors prendre part à l'enquête.

Pour l'administration de notre questionnaire, les deux premières méthodes ont donc été privilégiées. Dans le cadre de la seconde méthode, les mails envoyés ont nécessité un intermédiaire. De fait, les listes de diffusion correspondaient dans de nombreux cas aux membres d'une association ou d'un forum de discussions. Ainsi, un mail expliquant la démarche, les objectifs et contenant l'adresse du questionnaire a été envoyé aux modérateurs ou responsables des sites. Ces derniers se chargeant alors, après validation du contenu du questionnaire, du transfert de la demande. Trois listes de diffusion différentes ont été utilisées : la liste de diffusion de l'association NegaWatt, de Ville et aménagement durable (couplée à envirobat-méditerranée) et des membres français du site construction 21.

Au total, nous estimons que ces méthodes ont permis de toucher près de 3000 professionnels du bâtiment se sentant concernés par les préoccupations énergétiques et environnementales. Nous ne présentons ici qu'une approximation de ce nombre. De fait, il a été constaté que certains répondants transmettaient de façon spontanée l'adresse internet du questionnaire à des confrères et autres intervenants du bâtiment. En conséquence, la quantification du nombre d'acteurs ayant effectivement eu connaissance du questionnaire ne peut formellement être donnée.

➤ Méthodes d'analyse des données des questionnaires internet.

Les questionnaires complétés et renvoyés, les données et informations contenues ont fait l'objet d'une analyse statistique. Dans un premier temps, les données sont regroupées par Google document au sein d'un tableur Excel. Le tableau créé présente alors en ligne les acteurs (individus) ayant répondu et en colonne les questions posées (variables). Trois types de variables peuvent être identifiées : les variables nominales, ordinales et métriques.

- « Une variable nominale est une variable de nature qualitative dont les modalités ne sont pas hiérarchisées (Ex : le statut d'emploi, le statut marital, l'intention de vote, ...)
- Une variable ordinale est une variable, le plus fréquemment de nature qualitative, dont les modalités sont hiérarchisées. (Ex : degré de satisfaction, le niveau d'instruction, ...)
- Une variable métrique est une variable de nature quantitative, dont les modalités correspondent à des nombres réels (Ex : le nombre d'enfants, le nombre d'employés d'une entreprise,) » [ALBARELLO et al, 2007].

Les modalités de chaque variable constituent les réponses de chaque individu à une question et se retrouve donc à l'intersection entre une ligne et une colonne. Chacune de ces modalités caractérisant les réponses de l'acteur, chaque acteur peut alors être analysé selon n dimensions (n

correspondant au nombre de questions).

Dans le questionnaire, la quasi-totalité des modalités est issue de variables nominales. De ce fait, l'analyse des résultats est passée par l'utilisation de trois méthodes (tri à plat, tableaux croisés et analyse factorielle des correspondances multiples (ACM)) qui, utilisées indépendamment ou couplées les unes aux autres, ont permis d'approfondir notre réflexion sur les freins et leviers. L'application de ces méthodes s'est faite à partir du logiciel de traitement statistique SPAD® dans sa version 4.51. Une brève description des méthodes employées, est présentée dans l'encart 10.

Encart 10 : ACM et tableaux croisés, une brève description

La définition et l'explication des différentes méthodes employées pour l'analyse des questionnaires sont reprises ci-dessous et tirées de [GONDRAN, 2001].

Tableau croisé : test d'indépendance entre 2 variables.

« Afin de savoir si deux variables nominales A et B sont liées ou indépendantes, elles doivent être croisées dans un tableau indiquant, dans chaque cellule, le nombre d'individus possédant les deux modalités de la ligne et de la colonne. Un test du Khi-Deux de Pearson peut ensuite être réalisé sur ce tableau. Ce test compare les effectifs observés (O_{ij}) avec les effectifs théoriques (T_{ij}) dans l'hypothèse où les deux variables seraient indépendantes (...). La variable du Khi-deux est calculée selon la formule suivante :

$$\chi^2 = \sum (O_{ij} - T_{ij})^2 / T_{ij}$$

Une table de distribution du Khi-deux donne le χ^2 théorique qui correspond à un degré de liberté donné et au risque α auquel on accepte l'hypothèse d'indépendance des deux variables. Ainsi, le logiciel SPAD 4.51 fait correspondre le χ^2 et le degré de liberté du tableau croisé avec un niveau de risque α (probabilité que $\chi^2 > \chi^2_{\text{calculé}}$) qui correspond à la probabilité que les deux variables soient indépendantes. Généralement, le seuil maximal choisi pour accepter l'hypothèse testée est de 0,05, soit 5 %.

- Si $\alpha \leq 0,05$: on considère que les 2 variables sont liées.
- Si $\alpha \leq 0,95$: on considère que les 2 variables sont indépendantes.

L'analyse des correspondances multiples (ACM)

L'analyse des correspondances porte sur des tableaux répartissant des individus selon les différentes modalités de deux variables nominales différentes. Ces tableaux dits de contingence permettent d'étudier les relations éventuelles existant entre deux variables nominales. L'analyse des correspondances multiples (ACM)

est une généralisation de cette analyse des correspondances à des tableaux disjonctifs complets. La distance $d(j, j')$ entre modalités que l'on cherche à maximiser est celle du χ^2 .

$$d^2(j, j') = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^p \frac{n}{z_{i,j}} (Z_{ij} - Z_{i'j})^2$$

. Z_{ij} est la valeur prise par la variable j pour l'individu i . s correspond au nombre de variables de Z_{ij} . L'analyse des correspondances multiples permet la représentation simultanée des nuages des individus et de celui des modalités et met en évidence :

- La proximité entre les individus : deux individus se ressemblent s'ils ont choisi globalement les mêmes modalités et sont proches dans le plan.
- La proximité entre modalités de variables différentes : chaque modalité est représentée par le centre de gravité des individus qui l'ont choisie. Si deux modalités de variables différentes sont proches dans le plan, c'est qu'elles ont été globalement choisies par les mêmes individus.
- la proximité entre deux modalités d'une même variable : par construction, chaque variable ne peut prendre, pour un même individu, qu'une seule modalité. Si deux modalités d'une même variable sont proches, c'est que les groupes d'individus qui les ont choisies ont les mêmes profils au niveau des autres variables.

Les indicateurs permettant d'interpréter les résultats sont les suivants :

- Les coordonnées des individus et des modalités dans le plan permettent de déterminer leur éventuelle proximité.
- La contribution exprime la part prise par une modalité d'une variable dans l'inertie d'un axe (plus une contribution est élevée, plus la modalité influe sur la construction de l'axe). Pour trouver une éventuelle signification à un axe, il faut s'intéresser aux points ayant une forte contribution.
- Le cosinus carré exprime la part prise par une modalité dans la dispersion d'une variable. Cet indicateur permet donc d'apprécier si une modalité est bien représentée sur un axe.
- La valeur-test permet d'apprécier si une modalité a une position significative sur un axe. Une modalité (active ou illustrative) occupe une « position significative » si sa valeur-test est supérieure à 2 en valeur absolue. »

2.4. La démarche d'investigation en quelques mots.

Afin de conclure sur la méthode d'investigation suivie lors de cette recherche, nous reprenons de façon concise les différentes étapes et objectifs qui ont guidé notre démarche. Souhaitant identifier les principaux freins et leviers limitant l'atteinte des objectifs par le système bâtiment, nous avons interrogé les acteurs de ce système. Ainsi, par l'intermédiaire d'entretiens semi-directifs administrés lors d'interviews, nous nous sommes attachés dans un premier temps à éclaircir la vision du système et de ses objectifs par les acteurs. Par la suite, suivant un guide d'entretien basé sur le modèle IDPA, nous avons abordé au travers d'actions concrètes et de scénarios d'évolution prospective les freins rencontrés par les acteurs et les leviers pressentis pour y répondre. Les discours d'acteurs, une fois retranscrits, ont été regroupés et complétés par d'autres propos issus du forum de discussions sur la qualité environnementale du bâti. L'ensemble des informations recueillies ont permis de structurer un questionnaire internet dont l'objectif était de nuancer les discours obtenus lors des entretiens et de tenter d'évaluer l'importance des freins et leviers identifiés. Le Tableau 33 récapitule les objectifs, avantages et inconvénients de chacune des méthodes utilisées.

Tableau 33 : Objectifs, avantages et inconvénients des méthodes.

	Entretiens	Forum	Questionnaire internet
Objectifs	- Identifier les freins et les leviers au facteur 4	- Approfondir les freins identifiés lors des entretiens	- Nuancer, valider, estimer l'importance des discours recueillis - Percevoir les spécificités d'un territoire
Avantages	- Acteurs ciblés - Propos continus et ordonnés - Explications possibles	- Profils d'acteurs variés - Propos très approfondis	- Profils d'acteurs variés - Territoires diversifiés - Données quantitatives
Inconvénients	- Chronophage - Echantillon restreint	- Sujets de discussion aléatoires - Acteurs « occupant le terrain » de la discussion	- Taux de retour incertain - Echantillon difficilement définissable
Outils	- Questions semi-directives - Guide d'entretien	- Forum	- Questionnaire internet via Google documents

Ainsi, après avoir présenté la vision du système et de ses objectifs par les acteurs du bâtiment, la partie suivante aborde les limites et freins perçus comme pouvant entraver la transition du système vers un état souhaité (La réduction d'un facteur 4 des consommations d'énergie et de

GES). Cette retranscription des freins sera suivie de l'analyse des discours portant sur les solutions et leviers pouvant engager le bâtiment dans une direction compatible avec ses objectifs. Dans chacun de ses deux ensembles et lorsque cela s'avèrera utile et possible, nous tenterons de nuancer les points abordés par la présentation d'éléments chiffrés provenant de l'analyse quantitative des questionnaires internet. D'une manière générale et comme l'illustre les premières données sur le taux et la provenance des retours au questionnaire, les éléments quantitatifs seront intégrés au corps du texte par l'intermédiaire d'encadrés (ex : Encart 11). Ces encadrés comprendront les données textuelles et graphiques de l'information analysée.

Encart 11 : Provenance et taux de retour.

- 249 réponses aux questionnaires internet ont été recensées soit un taux de retour avoisinant les 8%. 70% des retours sont issus d'acteurs Rhône-Alpins du bâtiment. Plus du tiers des acteurs (92 répondants) sont localisés dans la Loire et constitue le groupe majoritaire.
- Les répondants aux questionnaires correspondent en majorité (59,5 %) à quatre profils : des associations (18,1%), des bureaux d'études (16,9%), des architectes (14,5%) et des collectivités (10 %). La répartition de l'ensemble des répondants est donnée en Figure 42.

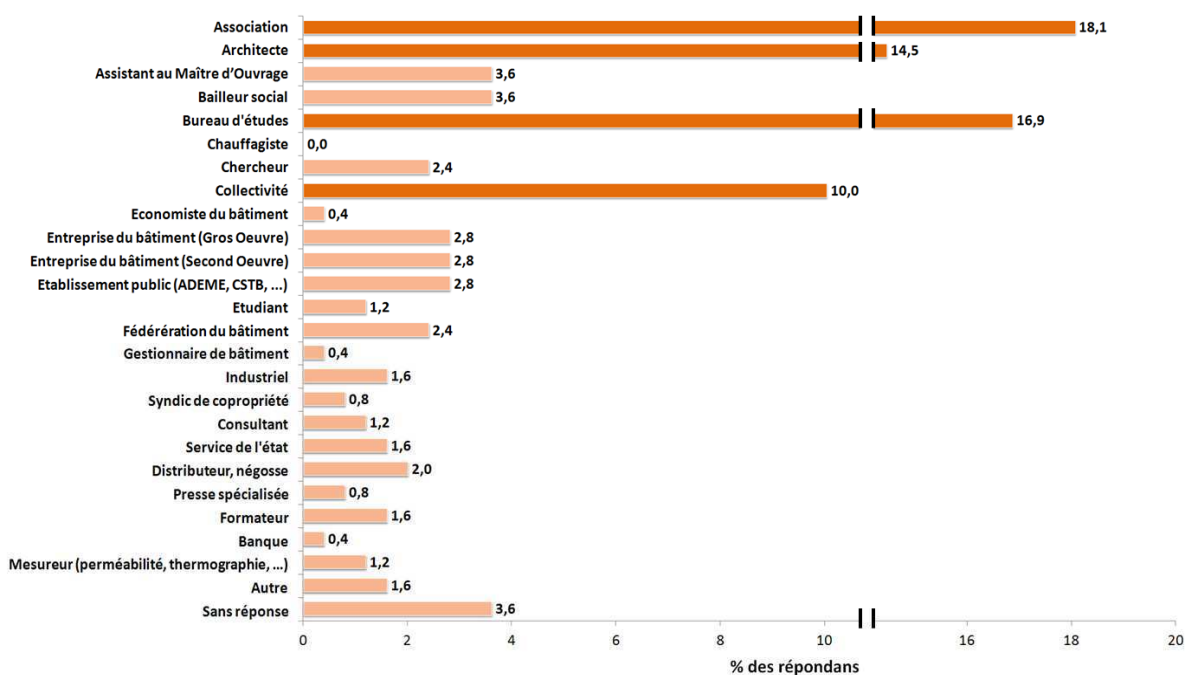


Figure 42 : Représentation des répondants par type d'acteurs.

Voie de réception du questionnaire internet par les enquêtés (Figure 43).

- 50 % des répondants ont reçu le questionnaire via un mail direct de l'enquêteur
- 25 % via une liste de diffusion (NégaWatt, EnviroBat-Méditerranée, construction 21, ...).
- 25 % via une autre source (transfert de mail).

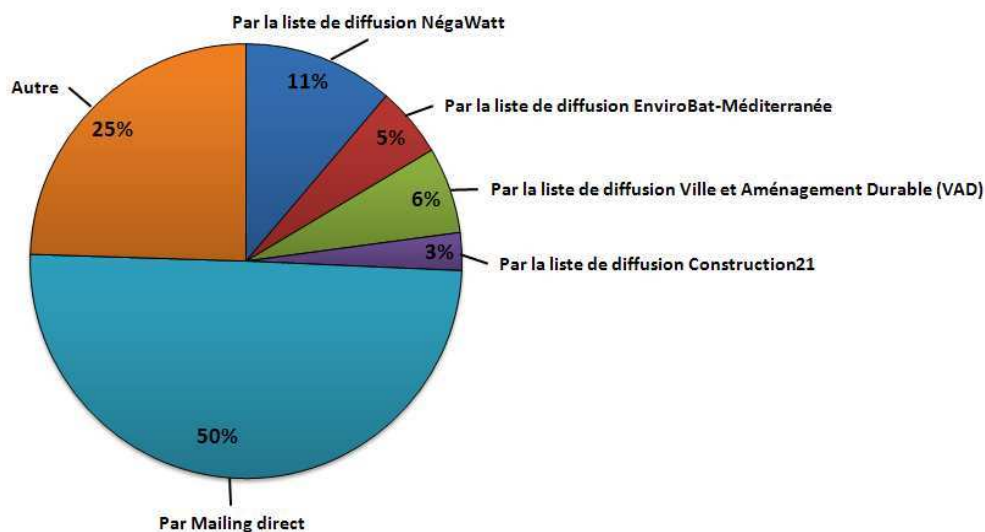


Figure 43 : Voie de réception des enquêtes

Le taux de retour bien que faible pour permettre une représentativité de l'échantillon semble toutefois être suffisant pour une analyse statistique. L'échantillon de répondants étant composé de quatre profils d'acteurs issus en majorité de la région Rhône-Alpes et principalement de la Loire, les nuances apportées aux discours recensés sont donc à replacer selon ces caractéristiques.

3. Résultats d'analyse

3.1. Un système multi-facettes.

Quelle vision ont les acteurs du système bâtiment dans lequel et avec lequel ils interagissent ? Système précurseur ou rétrograde, bercé par une routine ou tourné vers l'innovation, le bâtiment montre, au travers de visions différentes, de multiples facettes. Ses objectifs tournés vers les problématiques environnementales ou énergétiques, se retrouvent confrontés au maintien des prérogatives même du bâtiment. L'acte de bâtir ou de rénover prend alors un angle différent selon les acteurs et les objectifs qu'ils poursuivent.

➤ Un système complexe sujet aux « traditions ».

La représentation du système bâtiment est variable selon les acteurs. Si des définitions claires, concises et précises sont la plupart du temps exemptes des discours, de grandes tendances opposées ou concordantes reflètent la difficulté à caractériser un système si complexe.

La complexité du système est un point récurrent dans les discours d'acteurs. Cette complexité apparaît à différents niveaux mais, le plus souvent, commence durant l'évocation de la diversité des situations rencontrées lors des projets de rénovation et construction. De fait, face à un projet

de maisons individuelles, de logements collectifs privés ou publics, ou encore de bâtis tertiaires, les problématiques et objectifs diffèrent. Face à la diversité des bâtiments, leurs objectifs sous-jacents apparaissent de plus en plus exigeants, rendant dans de nombreux cas les compétences d'un seul acteur bien dérisoire devant l'ensemble des tâches à accomplir. Le système bâtiment nécessite donc avant tout la coordination d'une multitude d'intervenants. Les acteurs interrogés insistent sur ce point. Le nombre et la diversité des intervenants apparaît à la fois comme un atout et une faiblesse. Atout parce que l'interaction d'acteurs multiples permet une mutualisation des compétences ayant la capacité de répondre aux diverses situations rencontrées :

« En tant que maître d'ouvrage, dans l'idéal, il nous faudrait des compétences en économie, en ingénierie, en management, en gestion, etc. Or, au sein même de notre structure nous constatons de réelles difficultés à toutes les rassembler. C'est pour cela que les AMO, économistes et autres existent, et heureusement d'ailleurs... » (E-ESH-1).

Faiblesse du fait des difficultés inhérentes à gérer des acteurs qui, de par des profils et visions différents, sont sources de conflit. En effet, comme nous le rappelle un responsable d'une fédération du bâtiment, la diversité des professions et la variété des structures auxquelles ils appartiennent, si elles présentent des avantages, ont tendance à rendre plus complexe la gestion des intervenants :

« Dans le bâtiment on parle de maîtrise d'ouvrage, d'AMO, de maîtrise d'œuvre, d'architecte, de bureau d'étude, tous ces gens, ça en fait du monde. Et encore si c'était que ça ! On va souvent de l'artisan travaillant seul, jusqu'aux multinationales. A gérer, c'est pas du tout la même chose » (E-SYND-1).

« Actuellement, l'architecte passe plus de temps à gérer des conflits que le chantier » (E-ARCH-2).

Le système a donc nécessairement besoin d'être coordonné. Cette coordination passe en théorie par un dialogue approfondi entre les différentes strates d'intervenants, de la conception à la construction. Cette coordination, en tant qu'harmonisation d'activités diverses dans un souci d'efficacité, apparaît cependant régie par une pseudo hiérarchie séparant les donneurs d'ordres et les exécutants. Ainsi, de façon caricaturale, le maître d'ouvrage ayant défini ses besoins, l'architecte et par la suite les entreprises se voient dans l'obligation d'y subvenir :

« La majorité des entreprises fonctionne sur le système « on me dit je fais ». Ils n'ont pas tort car si le donneur d'ordre définit des critères, ces derniers doivent être atteints, environnementaux ou non » (E-SYND-1).

Bien souvent, la « tradition » des acteurs du bâtiment explique ce fonctionnement par séquençage d'ordres et d'actions entre différents niveaux d'acteurs. La tradition, fait dans de nombreux cas, référence à certaines caractéristiques et « habitudes » des acteurs, qui par choix ou obligations appliquent un raisonnement et des techniques parfois « éculées ». Le terme « éculé » n'est pas forcément péjoratif étant donné qu'il traduit pour certains acteurs des modes de fonctionnement ayant certes perdu en originalité mais permettant de répondre à certains

objectifs. En revanche, pour d'autres intervenants de l'acte de construire et de rénover, la tradition reflète un « archaïsme » perçu comme « un grain de sable » dans les rouages du système. La notion d'archaïsme recouvre les 60 dernières années durant lesquelles les expériences, techniques et modes de gestion du bâtiment ont été développés. Si ces modèles constructifs ont permis de répondre aux objectifs du moment (demande de logement en période d'« abondance » énergétique), ils deviennent inadaptés au contexte actuel. Les acteurs et tous les experts qui sont associés à un projet doivent donc évoluer vers des bâtiments novateurs, proposant de nouvelles inspirations. Cette évolution des modes de faire n'est cependant pas synonyme d'éviction des savoirs acquis mais vise un élargissement des solutions. Ces solutions pouvant être innovantes ou puisées dans l'ensemble de l'histoire constructive depuis la première habitation jusqu'à aujourd'hui.

Au travers de ces visions du système de son fonctionnement et de sa remise en cause apparaît en filigrane la question essentielle des objectifs à atteindre. En effet, la validité mais surtout la représentation du système par les acteurs ne peuvent être appréhendées sans une compréhension et une identification des enjeux poursuivis par le système.

➤ Des enjeux et objectifs variables

Au-delà d'une réflexion sur la complexité du système et de ses caractéristiques, c'est au niveau des objectifs poursuivis et de leur application que les acteurs expriment une palette de représentations variées.

Lorsqu'on les interroge sur les objectifs actuels du bâtiment, c'est sans surprise qu'une majorité des enquêtés mentionnent en premier lieu les aspects énergétiques et environnementaux. L'influence de la prise de conscience et de la mobilisation depuis plusieurs années des institutions nationales couplées à des campagnes de sensibilisation ne semblent pas étrangères à cela. Si en première lecture les discours semblent converger, les termes employés en vue de décrire ces objectifs recouvrent des notions différentes. Ce point est particulièrement vrai au travers de la notion de facteur 4, notion largement connue des acteurs du bâtiment.

Connaissance du concept de facteur 4 (Figure 44).

- 201 répondants sur 249 soit 80,7% des acteurs questionnés ont déjà entendu parler du concept de facteur 4.

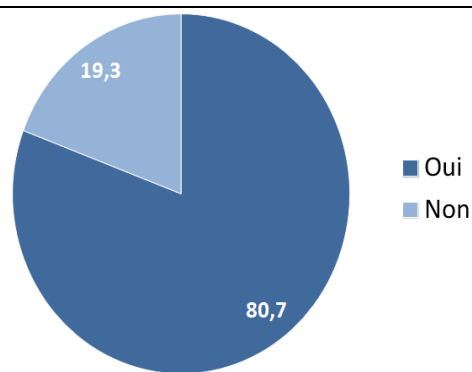


Figure 44 : % des répondants ayant une connaissance de l'objectif du facteur 4.

Le concept de facteur 4 est fortement connu des répondants et ce quel que soit leur profession ou leur organisme d'origine. Cependant, la proportion des acteurs ayant entendu parler de ce concept, bien que majoritaire dans la Loire, apparaît nettement plus basse que dans les autres régions. En effet, 64% des acteurs de la Loire connaissent le facteur 4 contre 88% des répondants de Rhône-Alpes et 93% dans les autres départements (Annexe 4, Tableau 73). De fait pour toutes les professions d'acteurs représentées sur le territoire de la Loire, la connaissance du facteur 4 reste inférieure en moyenne aux autres régions. Le mode de réception des questionnaires (mail, liste de diffusion spécifique) peut être avancé pour expliquer ces données. Directement connus par le chercheur ou ses partenaires, les acteurs ligériens ont reçu les demandes de questionnaire via un mailing direct et ce contrairement aux répondants d'autres territoires ayant été contacté via des listes de diffusion spécifiques portant sur la thématique énergétique. Ainsi, le panel d'acteurs ligériens peut donc être considéré comme plus large que dans les autres régions où les répondants sont a priori sensibilisés aux problématiques énergétiques (ou tout au moins ayant entrepris une démarche pour s'inscrire sur des listes en lien avec ce thème). Toutefois, le lien entre mode de réception et sensibilité ne peut être généralisé à l'ensemble des listes de diffusion et se doit d'être relativisé. En effet, si l'on se penche sur la question de la connaissance du facteur 4 selon les modes de réception, on observe que (Annexe 4, Tableau 74) : alors que la liste de diffusion de VAD et EnviroBat montrent respectivement que 100% et 94% des répondants connaissent le facteur 4, ce taux descend à 68% et 57% pour les listes Négawatt et Construction 21. Dans le même temps, 83% des acteurs ayant reçu un mail direct connaissent l'objectif du facteur 4.

Le concept de facteur 4 a largement été diffusé auprès des acteurs du bâtiment. Que ce soit au travers du Grenelle de l'environnement, des réseaux professionnels, des magazines de vulgarisation scientifique ou encore des réglementations thermiques, les acteurs semblent avoir privilégié et s'être approprié certaines définitions. Ainsi, deux notions derrière le concept de facteur 4 apparaissent. La première définition s'inscrit dans une représentation où le système bâtiment est engagé dans un programme de grande envergure visant à limiter les émissions de GES.

La question climatique est en effet souvent reliée à la notion de facteur 4 par les acteurs du bâtiment. Pour la quasi-totalité des acteurs interrogés lors des entretiens, le facteur 4 signifie avant tout réduire par 4 les émissions de GES. La définition donnée retranscrit quasi mot à mot la

description proposée par le Grenelle de l'environnement et autre document officiel. Dans de nombreux cas, la précision dans la formulation est impressionnante. De la limitation de l'augmentation de température de 2°C à la citation d'une année de référence (1990), les acteurs du bâtiment semblent pour la plupart maîtriser le contenu de l'objectif appliqué aux questions climatiques :

« Le Facteur 4 consiste en une diminution par 4 des émissions de CO₂ des pays riches afin de limiter l'augmentation de température de 2°C » (E-INST-4).

« Le Facteur 4 est une direction dont l'objectif serait une division par 4 de nos émissions de GES par rapport à 1990 » (E-ASSO-4).

Si cette vision globale d'un objectif national voire international est dominante dans les discours recensés, elle est cependant perçue par de nombreux acteurs comme trop théorique et très abstraite. Pour ces raisons, nombre de personnes rencontrées, bien qu'ayant conscience des aspects climatiques inhérents à l'objectif du facteur 4, abordent dans un second temps l'aspect énergétique bien plus pertinent et tangible dans le cadre de leurs projets et actions. Sous cette configuration, le facteur 4 est alors synonyme de réduction par 4 des consommations d'énergie par rapport à la moyenne nationale. Cependant, si dans un premier temps les définitions semblent concorder, force est de constater que le périmètre d'application de l'objectif diffère. En effet, alors qu'une majorité d'acteurs cible le bâtiment neuf, peu nombreux sont ceux mentionnant le stock de bâtiment existant. La définition du facteur 4 comme objectif prioritaire de la construction et dans une moindre mesure du bâti ancien est à rechercher dans la représentation quant à la faisabilité d'un tel objectif. De fait, réduire par 4 les consommations d'énergie ne semble réalisable aux yeux des enquêtés qu'au travers des nouvelles constructions :

« Le facteur 4 est complètement faisable dans le neuf. L'ancien n'est pas fait pour » (E-ASSO-3).

« Les performances du neuf ne sont que très difficilement transposables dans l'ancien » (E-INST-4).

Ce constat est en partie explicable par la perception des acteurs de l'évolution des obligations réglementaires dans la construction. De fait, le bâti neuf au travers des labels et maintenant de la nouvelle réglementation thermique (RT 2012), semble avoir convaincu les enquêtés de l'atteinte d'objectifs ambitieux (par exemple les fameux 50 kWh_{ep}/m²/an) et ce à très court terme.

Au contraire, dans le bâti ancien, la dynamique actuelle du système semble bien moins convaincante, laissant douter de la faisabilité d'un tel objectif en l'état actuel du système :

« Les travaux de rénovation doivent s'orienter vers le facteur 4. C'est une direction, on ne peut pas y parvenir tout de suite car on ne peut pas intervenir de partout » (E-INST-5).

« Pour atteindre le facteur 4, il faut repenser des bâtiments qui n'ont pas été conçus pour de telle performance, ce qui n'est pas atteignable actuellement vue la dynamique actuelle » (E-INST-1).

Dynamique actuelle du système en vue du facteur 4 (Figure 45).

- Seuls 3% des répondants au questionnaire internet considèrent que la dynamique actuelle du système bâtiment permettra d'atteindre le facteur 4.
- 10 % estiment que quelles que soient les évolutions, le facteur 4 est irréaliste.
- 68 % pensent qu'une évolution de la dynamique via une mobilisation accrue d'acteurs pourrait permettre l'atteinte des objectifs.

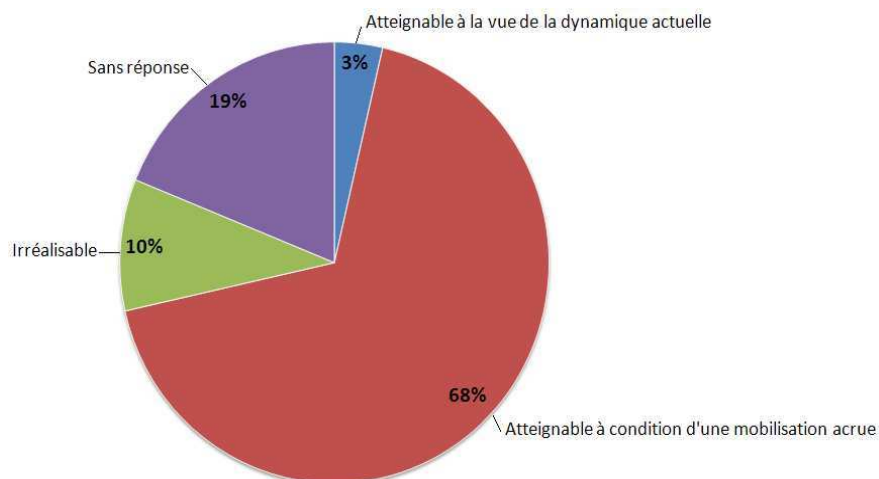


Figure 45 : Perception du facteur 4 et de la dynamique du système

Les répondants aux questionnaires montrent majoritairement une réserve quant à l'atteinte des objectifs de performance dans le bâtiment de par la seule dynamique actuelle du système.

Malgré tout, même si les objectifs semblent difficiles, la motivation des acteurs face aux enjeux, notamment climatiques, les encourage à persévérer. Cet optimisme est majoritairement porté par la conscience même des conséquences qu'aurait une absence d'intervention et d'amélioration des bâtiments sur ses fonctions d'usage et notamment le confort. En effet, si la performance est un objectif, beaucoup d'acteurs ne l'envisagent non pas comme une fin en soi mais comme un passage obligé vers le maintien de la qualité de vie des habitants :

« Personnellement, je ne distingue pas la performance environnementale des autres critères. Pour moi, le but est de réduire nos impacts tout en garantissant une qualité de vie aux habitants » (E-INST-3).

« La performance énergétique est un thème mais ce n'est pas le seul élément » (E-ASSO-3).

Les acteurs du bâtiment rencontrés lors des entretiens ont donc une perception globale des enjeux poursuivis par le système. Si les problématiques environnementales semblent acceptées et que chaque acteur apparaît volontaire, les personnes interrogées mettent cependant en garde quant à la capacité d'évolution à très court terme du système dans sa globalité :

« L'évolution va se faire, cependant la vitesse du changement ira peut-être moins vite que ce qui était souhaité ou souhaitable » (E-ECO-1).

« La prise de conscience des gens est très longue, elle se fait dans la durée » (E-ASSO-3).

En effet, le système semble ressenti comme sujet à une forte inertie et composé dans son état actuel de nombreux éléments limitant (comportementaux, techniques, économiques, ...) contribuant à freiner l'atteinte des objectifs et l'émergence de projets « ambitieux ».

Au travers de ces discours d'acteurs, une première caractérisation du système semble se dessiner. Système **technique et humain**, le bâtiment apparaît, de par la multitude de cas qu'il est amené à traiter, comme difficilement appréhendable par un seul acteur. Nécessairement **pluridisciplinaire**, le système fait appel à de **multiple intervenants** qui de par leurs compétences, viennent répondre aux difficultés rencontrées. Par conséquent, le système est perçu comme **complexe** et cette complexité est intégrée par la majorité des enquêtés. Des différences plus marquées apparaissent lors de la définition des objectifs du système. Axés sur les **fondamentaux d'un bâtiment**, c'est-à-dire fournir à l'utilisateur un bâti permettant de répondre à ses usages, les acteurs semblent cependant avoir intégré les nouveaux enjeux liés aux problématiques environnementales. De fait, la question climatique et notamment la **réduction des émissions de CO₂** bien qu'apparaissant très abstraite pour les acteurs est fortement ancrée dans la perception des nouveaux objectifs à atteindre. Malgré tout, afin de la rendre plus pragmatique, de nombreux acteurs lui associent la **réduction des consommations d'énergie**. Ceci est particulièrement vrai au travers de la notion de **facteur 4** qui confirme son aspect fractal face aux prérogatives et représentations des acteurs.

Objectif porté par la notion de facteur 4 (Figure 46).

- 127 personnes soit 63% des répondants identifient le facteur 4 comme une réduction par 4 des émissions de GES
- 67 répondants soit 33% de l'échantillon identifient le facteur 4 comme une division par 4 des consommations d'énergie.

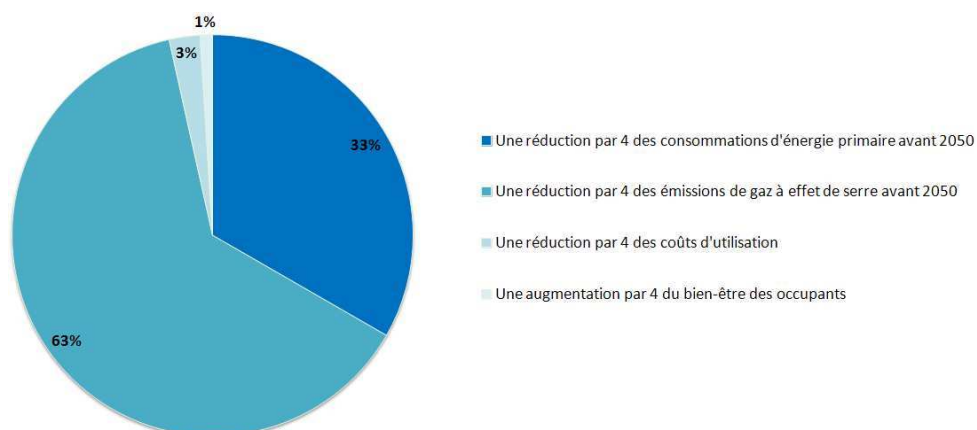


Figure 46 : Objectif porté par la notion de facteur 4

Les chiffres de l'enquête internet semblent confirmer l'aspect fractal et (re)valide l'hypothèse 2⁴¹ abordée dans le chapitre 1. Le facteur 4 est avant tout perçu au travers de sa composante climatique, bien que l'aspect énergétique tienne une place non négligeable dans les représentations d'acteurs.

Malgré tout, si les acteurs interrogés semblent dans la majorité **convaincus et motivés**, des doutes apparaissent quant à la faisabilité de tels objectifs, et ce principalement lorsque la question de la rénovation du bâti ancien est abordée. La **remise en cause de la faisabilité du facteur 4** fait ici bien plus référence au temps nécessaire pour rénover, à la dynamique à mettre en place, qu'aux exigences de consommation ciblées. Si l'évolution du système vers un état moins consommateur semble amorcé, de nombreux acteurs restent dubitatifs quant à la capacité à atteindre les objectifs dans le temps imparti. Ces difficultés sont dues notamment à l'inertie du système (Inertie liée comme nous le verrons aux acteurs du bâtiment) mais aussi à une multitude de freins limitant les possibilités d'action.

3.2. Les freins à l'atteinte du facteur 4 dans le bâtiment.

La question des freins à l'atteinte du facteur 4 énergétique est un problème de fond pour les acteurs du bâtiment. Lorsqu'elle est posée, les acteurs interrogés semblent intarissables sur le sujet. Rattachés selon les cas à une réalité qui leur est propre ou au contraire partagés par une majorité, les freins réfèrent aux limitations, aux éléments entravants rencontrés lors des projets de rénovation et construction « performantes ».

➤ Objectifs théoriques et réalités pratiques, une déconnexion non sans conséquence.

Un point récurrent lorsque l'on interroge des acteurs du bâtiment est la « fracture » qu'ils perçoivent entre les objectifs à atteindre et la réalité dans laquelle ils évoluent. En effet pour de nombreux praticiens, il y a une déconnexion croissante entre les acteurs (les politiques) qui définissent des objectifs et ceux (les professionnels du bâtiment) qui, au final, seront en charge de les mener à bien :

« Il existe de tels écarts entre les objectifs du facteur 4 et la réalité du terrain, que l'on préfère travailler sur ce dernier » E-ASSO-1.

« Il y a un écart étonnant entre la théorie et la réalité du terrain » (E-INST-3).

« Toute la réflexion environnementale n'aura de débouché et d'intérêt que si elle est rattachée aux réalités locales et accompagnée d'une véritable prise de conscience » (E-ARCH-1).

⁴¹ Hypothèse 2 : Le facteur 4 est un concept fractal pouvant être modifié, précisé ou appauvri selon les niveaux d'application et les objectifs sur lesquels on souhaite se focaliser.

Adéquation entre objectifs théoriques et réalités du terrain (Figure 47).

- 6 % des acteurs interrogés considèrent que les objectifs et plans proposés sont en adéquation avec la réalité qu'ils côtoient.
- 55% des acteurs voient une adéquation partielle et 21% une adéquation inexistante.

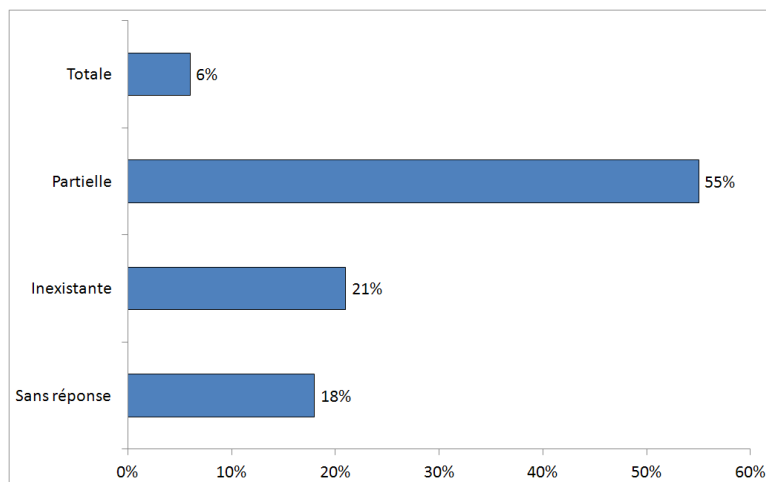


Figure 47 : Adéquation entre objectifs théoriques et pratiques du terrain

Quelque soit le type d'acteurs (MO, Moe, associations, etc.), les répondants semblent voir au mieux une connexion partielle entre objectifs théoriques et réalités pratiques, cette connexion étant tout de même inexistante pour plus d'un acteur sur cinq.

Cette rupture partielle ou totale est pour de nombreux interviewés un point fortement limitant. En effet, si un intervenant quel qu'il soit ne s'approprie pas une décision, aucune retranscription ne peut être espérée. Les décisions et objectifs aussi séduisants soient-ils n'ont alors aucun effet et leur portée ne peut alors espérer dépasser le stade du concept ou de la théorie.

Le manque d'appropriation semble dangereux. De fait, les professionnels du bâtiment devant la perception d'un enjeu trop abstrait, s'éloignent de ce dernier voire l'ignorent. La prise de conscience ne se faisant pas, la nécessité de l'objectif n'est pas perçue et le changement escompté absent. Dans certains cas, la dé-corrélation entre théorie et pratique étant exacerbée, une remise en cause de l'objectif et de son intérêt s'installe. Ne comprenant pas ce qui doit être atteint, et pourquoi on leur demande de changer, l'évolution du système vers une amélioration de sa performance, au lieu d'être vécue comme une opportunité, est perçue sous l'angle de la contrainte :

« Je ne suis pas convaincu que la prise en compte de l'environnement ne soit pas dans certains cas culturellement négatif » (E-ARCH-1).

« Les mecs se prennent de plein fouet cet aspect là et il faut l'intégrer, le gérer avec plus ou moins de bonheur. Beaucoup d'entreprises le vivent comme une contrainte » (E-SYND-1).

L'une des conséquences majeures d'une telle absence de corrélation entre objectif théorique et réalité pratique est la gestion des projets qu'elle provoque. Les acteurs plus ou moins sensibles et conscients des objectifs théoriques vont alors tenter volontairement ou sous la « contrainte » de les appliquer aux rénovations et constructions auxquelles ils participent. Un projet devant nécessairement faire intervenir une multitude d'acteurs, il devient alors grandement probable que leurs acceptations et connaissances individuelles et collectives des objectifs impactent leur capacité commune à produire un bâtiment performant. Face à ce constat et à l'heure où l'urgence climatique et énergétique se fait sentir, une question se pose alors : l'acceptation d'objectifs tels que ceux portés par le facteur 4 et ce qu'ils impliquent est-elle le fait de quelques pionniers et innovateurs ou peut-elle être considérée comme une idée faisant consensus et étant partagée par la majorité ? Bien qu'il soit difficile de juger au travers d'enquêtes de la réelle acceptation d'une problématique, nous avons tenté « d'estimer » l'état d'avancement de cette dernière chez les acteurs des bâtiments. Ce n'est cependant pas l'acceptation de l'acteur interrogé qui a été testée mais la perception qu'il a de cette acceptation chez les autres :

Acceptation duale des problématiques énergétiques et environnementales (Figure 48).

- Parmi les 249 répondants de l'enquête internet, seul 2% considèrent que la totalité des acteurs du bâtiment partage les problématiques environnementales et énergétiques. 49% considèrent qu'elles sont partagées par une majorité et 49% par une minorité

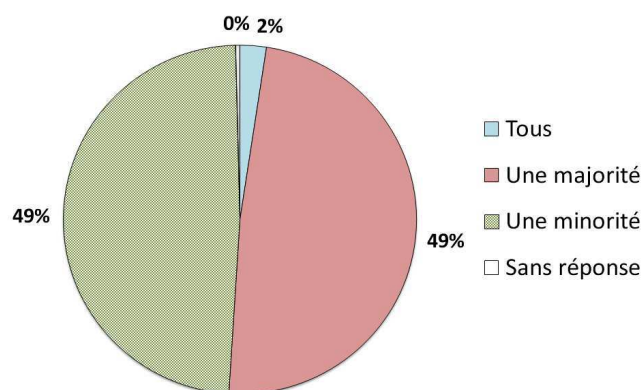


Figure 48 : Percepton de l'acceptation des problématiques énergétiques et environnementales dans le bâtiment

Le débat sur la question importante de l'acceptation et de l'appropriation des objectifs ne semble pouvoir être tranché. Les acteurs questionnés se répartissent en deux groupes de proportion identique. Cette dualité entre majorité et minorité apparaît comme une constante indépendante de la profession du répondant ($\alpha = 0,974$) et non reliée à un quelconque niveau de compétences ou origine territoriale de l'acteur interrogé ($\alpha = 0,386$) (Annexe 4, Tableau 75, Tableau 76, Tableau 77).

Cette singularité dans les résultats est particulièrement intéressante. De fait, nous pouvons émettre l'hypothèse qu'au-delà d'une simple dualité entre deux groupes d'acteurs, « l'hésitation » retranscrite permet dans une certaine mesure de préjuger de l'état d'avancement de

l'appropriation des objectifs. L'évolution, ou encore le rythme d'acceptation d'une information est souvent représentée au travers d'une courbe en S. La base du S regroupe des acteurs pionniers du domaine ayant intégré l'objectif et le mettant le plus souvent en application. Les pionniers, ou encore les innovateurs représentent une minorité de l'ensemble des acteurs. L'un des moments crucial de la courbe est la phase d'accélération de la diffusion remarquée lors du franchissement du seuil symbolique de 50%. Au-delà de ce point, l'adoption se généralise et la majorité est « sensibilisée » (Figure 49).

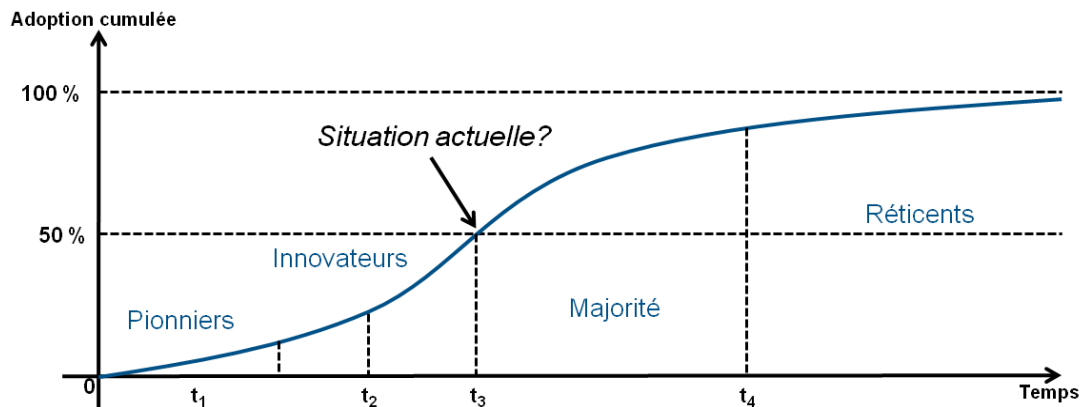


Figure 49 : Rythme de diffusion et d'appropriation d'une information [ZELEM et al, 2009].

L'appropriation et l'acceptation d'une problématique par la majorité constituent donc un point essentiel pouvant freiner l'évolution du système vers une dynamique lui permettant d'atteindre ses objectifs (Tableau 34). Cependant, savoir ou même vouloir ne suffit pas. En effet, comme nous le rappelle un représentant d'un bureau d'étude si adhérer à des principes semble « facile » cela ne suffit pas à garantir une transcription dans les pratiques du quotidien.

Tableau 34 : Objectifs théoriques et réalités pratiques : Limites et entraves au facteur 4.

Limites au facteur 4	Acteurs reliés
❖ Connaissances des enjeux insuffisantes	- Acteurs dans leur globalité
❖ Perception d'un objectif théorique déconnecté de la pratique	
❖ Objectif non approprié et non partagé	
❖ Objectif perçu comme une contrainte	

➤ Savoir ne suffit pas ! les compétences pointées du doigt

Si le niveau d'appropriation de connaissances est entravant, la question des compétences de certains intervenants de l'acte de construire et de rénover s'impose pour nombre d'acteurs comme

un frein des plus importants lors de la réalisation de bâtiments performants. Au travers des discours retenus, la question des compétences d'acteurs fait écho à deux problèmes distincts que nous pouvons retranscrire sous une forme interrogative : Premièrement, l'acteur mandaté a-t-il les aptitudes nécessaires pour l'atteinte des objectifs désirés ? et deuxièmement, a-t-il les moyens actuellement d'obtenir ces compétences ? Sur le premier point, la compétence est reliée à un niveau, au degré d'aptitude que possède un acteur, et donc sa capacité à concevoir et réaliser un bâtiment dit performant.

Ce niveau perçu comme bas est directement lié au manque de formation des entreprises intervenant sur le chantier. Le plus souvent, artisans et ouvriers sont les acteurs les plus ciblés. Leur capacité à mettre en œuvre les techniques et matériaux nécessaires à la réduction drastique des consommations d'énergie semble limitée et ce d'autant plus que les solutions envisagées diffèrent de celles traditionnellement usitées. De fait, les nouvelles exigences en termes d'étanchéité à l'air ou l'utilisation de matériaux « alternatifs » restent encore très peu maîtrisées par les intervenants d'un chantier et conduisent souvent à une mauvaise mise en œuvre. Les artisans et ouvriers ne sont cependant pas les seuls à être remis en cause. En effet, si l'absence de compétences autour des questions énergétiques est dommageable lors de la phase de réalisation (chantier), elle l'est tout autant lors de la conception. L'architecte, et plus généralement la maîtrise d'œuvre ayant elle aussi sa part de responsabilité :

« Actuellement les architectes ne sont pas au point » (E-ASSO-3).

« Certains architectes ignorent ce qu'il faut faire et ne savent même pas qu'ils sont en situation de manque » (E-ARCH-1).

Malgré tout, former un acteur quelqu'il soit nécessite l'existence d'une formation c'est-à-dire d'un établissement permettant sous la forme d'enseignement théorique ou pratique d'acquérir les compétences nécessaires. Or, comme nous le révèlent les acteurs ligériens du bâtiment, le territoire de la Loire est en cruel manque d'établissements proposant aux métiers du bâtiment des formations réellement axées sur les questions énergétiques et environnementales :

« Sur sept BTS en Rhône-Alpes, un seul est dans la Loire alors même que le département compte 1 million d'habitants » (EASSO-4).

« Je n'ai pas actuellement eu de déclic face à une formation qui serait la formation orientée concepteur et qui serait révélatrice d'une modification culturelle face à l'environnement » (E-ARCH-2).

Ainsi, si le manque de compétences des acteurs est notoire elle est à relier dans une certaine mesure à l'absence de formations permettant d'acquérir ces compétences (Tableau 35). En conclusion, si les compétences des acteurs sont un frein à l'atteinte des objectifs, l'absence de formations l'est tout autant.

Tableau 35 : Savoir ne suffit pas ! : Limites et entraves au facteur 4

Limites au facteur 4	Acteurs reliés
❖ Compétences des acteurs limitées	- Artisans, ouvriers, architectes
❖ Manque de formations sur certains territoires	/

➤ **Absence de dialogue et manque de coordination : des limites à l'action.**

L'absence de compétences et de connaissances couplée à une appropriation variable des objectifs ne concourent pas à rétablir le dialogue presque tari entre les métiers du bâtiment :

« Le dialogue entre corps de métier autour de la performance énergétique est marginal » (E-ASSO-3).

« Le dialogue entre les métiers du bâtiment sur le chantier n'existe plus » (E-SYND-1).

En effet, l'une des entraves limitant le développement d'actions en faveur des économies d'énergie est directement liée aux relations qu'entretiennent les acteurs entre eux. Or, pour maintenir une relation permettant au système d'évoluer vers une amélioration des performances d'usages du bâti, un dialogue abouti et suivi tout au long d'un projet semble indispensable. Sans cela, la dynamique d'un projet apparaît compromise, les acteurs en charge du bon déroulement d'un chantier étant alors cantonnés à la gestion des conflits entre professions plutôt qu'à l'amélioration de leur coordination :

« Actuellement, l'architecte passe plus de temps à gérer des conflits que le chantier » (E-SYND-1).

« On ne peut pas réussir une rénovation performante sans un dialogue entre tous les acteurs du projet. Maître d'ouvrage, architecte, entreprises et utilisateurs doivent se parler.... » (E-ESH-1).

Le manque de coordination entre les équipes ressenti autant durant la phase de conception que lors de la réalisation d'un bâti ne concourt pas à atteindre les objectifs de performance énergétique. Lors de la phase de conception, l'intervention de certains acteurs tels les AMO semble se faire de façon tardive et sans réelle ambition, impactant notamment la cible énergie d'un projet. Pour la réalisation, la coordination réfère au séquençage des intervenants sur le chantier. Un exemple souvent abordé par les acteurs et pouvant illustrer nos propos concerne l'interaction entre plaquistes et électriciens. Dans le cadre d'un chantier, le soin apporté par un plaquiste notamment sur les questions d'étanchéité à l'air peut être « réduit à néant » si son intervention n'est pas coordonnée de façon appropriée avec l'électricien. En effet, la réduction des infiltrations d'air est liée en partie à l'étanchéité des murs et donc à la proportion des trous ou jointures dans ce dernier. Or, dans de nombreux cas, le plaquiste intervenant avant l'électricien, ce dernier augmente l'infiltration au niveau des parois. Au travers des discussions du forum

étudié, un autre exemple issu d'un ingénieur en bureau d'étude et ciblant la maîtrise d'œuvre vient renforcer l'absence de coordination et de concertation entre acteurs. L'exemple pris est le suivant :

« Dans la construction d'un bâtiment, quel qu'il soit, il y a d'abord un architecte. Celui-ci a pour mission de concevoir, malgré lui, un objet consommateur d'énergie, consommateur lors de sa construction (par son énergie grise) et consommateur durant toute son exploitation (sans oublier lors de son éventuelle déconstruction ou réhabilitation). Intervient alors un deuxième personnage, appelé thermicien, dont la mission va consister à déterminer, sur la base des plans de l'architecte, les moyens de produire l'énergie nécessaire au fonctionnement du bâtiment. Cette intervention amène quelques constats intéressants :

- L'architecte ne dispose d'aucun outil ni d'aucune compétence lui permettant d'évaluer le coût énergétique de sa construction, et encore moins les besoins futurs en énergie du bâtiment en exploitation. D'ailleurs, ce n'est pas la question que le Maître d'Ouvrage lui pose.

- Le thermicien intervient sur un projet dont toutes les caractéristiques ont déjà été figées : son rôle, c'est de chauffer en hiver, de rafraîchir en été, de ventiler et de maintenir l'hygrométrie, pas de discuter sur la pertinence des plans et des besoins induits par la construction » (F-BET-Armand Dutreix-12/03/2009).

Coordination et dialogue en phase conception et réalisation (Figure 50).

- Réciproquement, 59% et 75,5% des répondants au questionnaire internet considèrent que le dialogue et la coordination en phase conception et réalisation sont insuffisants

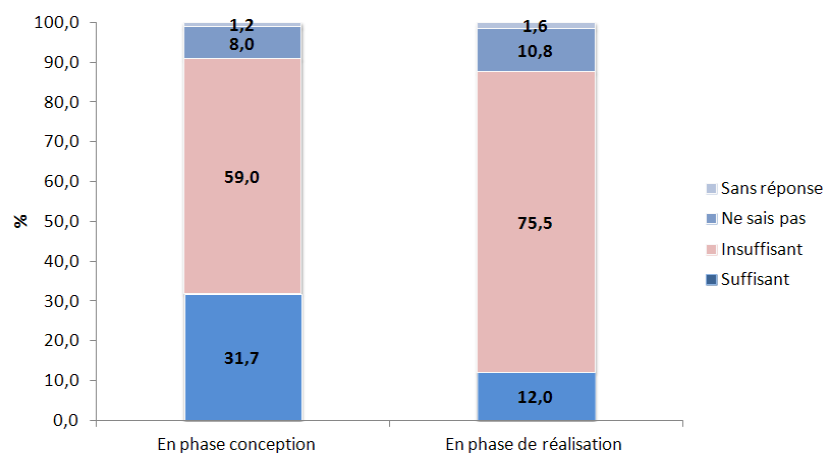


Figure 50 : Coordination des acteurs du bâtiment

Les réponses aux questionnaires viennent confirmer l'absence d'une coordination et d'un dialogue suffisant entre les métiers du bâtiment lors de la phase de conception et réalisation d'un projet. Toutefois cette insuffisance semble plus marquée lors de la réalisation et donc entre les différentes équipes et professions présentes sur un chantier.

Au travers de ces exemples, c'est le séquençage lui-même des intervenants sur le chantier, leur rôle et leur interaction qui est remis en cause. Le découpage des actions et interventions d'acteurs selon une structuration classique ne semble pas convenir. Ainsi, si un manque de coordination entre les acteurs peut être avancé, c'est surtout l'actuel système de pilotage d'un projet qui semble inapproprié (Tableau 36). La coordination traditionnelle dans le bâtiment, si elle fut efficace,

apparaît alors limitée pour la réussite de projets répondant aux enjeux de la performance énergétique et ce en phase conception comme en phase réalisation.

Tableau 36 : Dialogue et coordination : limites et entraves au facteur 4.

Limites au facteur 4	Acteurs reliés
❖ Dialogues entre acteurs quasi inexistant	- Acteurs dans leur globalité
❖ Difficulté à coordonner les équipes	- Coordinateur, Architecte
❖ Gestion et séquençage des projets inadaptés	- MO et MOe

➤ **Tuer le gisement, une conséquence évoquée.**

Le manque de compétences et de coordination entraîne des situations où toute action à défaut d'être suffisante s'avère irréversible et néfaste pour l'atteinte des exigences. L'écart entre les objectifs que l'on dit, que l'on se donne et la cohérence des choix faits lors d'un projet ont des conséquences fortes sur celui-ci. Les acteurs n'ayant pas les capacités ou ne réalisant pas l'enjeu à atteindre contribuent alors consciemment ou non à « tuer le gisement » d'économies d'énergie. Tuer le gisement évoque une situation où les rénovations effectuées captent une partie importante mais non suffisante du potentiel d'économie d'énergie d'un bâti, rendant alors nécessaire une seconde tranche de travaux. Or, si la première phase est viable d'un point de vue économique, l'opportunité d'une seconde ne se justifie que difficilement, les gains escomptés étant largement insuffisants face aux nouveaux coûts engendrés.

Ce phénomène n'est pas nouveau et est particulièrement visible chez les bailleurs sociaux. En effet ces derniers ayant, de par une politique d'entretien de leur patrimoine augmenté la performance moyenne de leur bâtiment, se voient aujourd'hui incapables de répondre aux objectifs du facteur 4.

« Dans la Loire, les bailleurs sociaux ne sont pas si mal. Alors de leur point de départ actuel (classe C, D du DPE), atteindre le facteur 4 c'est mission impossible sur la moyenne de leur parc » (E-INST4).

Ce manque d'ambition, s'il peut être en partie compréhensible chez les bailleurs du fait de travaux préalables, menés à une époque où les problématiques énergétiques étaient moins prégnantes, devient aujourd'hui largement limitant. De nombreux bâtiments deviennent de fait obsolètes bien avant leur réalisation. Si le niveau de performance initial d'un projet joue beaucoup sur les économies réalisées, ce n'est cependant pas le seul à réduire le gisement. De fait, une seconde cause directement liée aux compétences des acteurs concerne la qualité de mise en œuvre des matériaux et systèmes envisagés. Que ce soit au niveau de l'étanchéité à l'air ou des

ponts thermiques, la précision et le soin apportés au traitement des travaux semblent actuellement insuffisants pour garantir les performances souhaitées :

« La mise en œuvre des matériaux, c'est encore et presque toujours de l'à peu près » (E-ARCH-2).

« La performance implique la précision, ce qui n'est pas du tout la tradition du bâtiment » (E-INST-4).

Face à des situations de long terme, le système bâtiment et ses acteurs semblent encore incapables de gérer de façon adéquate les situations rencontrées. Malgré tout, si les projets proposés apparaissent peu ambitieux ou mal gérés d'un point de vue énergétique, la compétence et la coordination des acteurs ne peuvent en être les seules causes. En effet, entre absence d'obligation, complexité et non respect, les réglementations actuelles des bâtiments apparaissent elles aussi entravantes.

➤ La réglementation thermique, une limite au facteur 4.

Les réglementations, notamment thermiques sont le plus souvent évoquées au travers des discours comme des freins importants à l'atteinte du facteur 4. En effet, si l'absence d'ambition conduisant à tuer le gisement est imputable aux manques de compétences et de coordination des acteurs, elle est aussi reliée aux niveaux d'exigences des réglementations.

Actuellement, comme nous l'expliquent certains acteurs rencontrés, les maîtres d'ouvrages et la maîtrise d'œuvre, lorsque qu'ils proposent des solutions techniques, se basent sur les réglementations thermiques. Or, dans l'ancien, l'exigence définie actuellement par la RT existante est de $195 \text{ kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2/\text{an}$ pour une rénovation globale soit l'étiquette D du DPE. Cependant, cette exigence minimale réglementaire ne permet pas de répondre aux enjeux du facteur 4.

« Les bailleurs font soit le minimum, soit le maximum. Le minimum c'est tout juste si ce n'est pas les convecteurs électriques type grille pain, et le maximum, c'est le maximum qu'ils ont en tête ou encore le maximum qui est connu par l'architecte c'est-à-dire la RT » (E-ASSO-3).

« Quand vous avez un maître d'œuvre, un économiste, il vous donne tous les devis, tous les descriptifs des RT. 10 cm sur les murs, 27 ou 24 au plafond et 53 millimètres en dalle » (E-ESH-1).

Or comme nous venons de l'évoquer dans la partie précédente, un programme de rénovation ne visant pas initialement une performance optimale devient obsolète très rapidement et conduit à tuer le gisement d'économies d'énergie. Pour certains, l'absence d'exigences fortes révèle un manque de cohérence, notamment au niveau politique, entre les objectifs envisagés et les outils et actions mis en œuvre pour les réaliser. Les acteurs décisionnaires, par leur absence de volonté, se contentent alors au travers de discours d'amorcer un mouvement et de proposer des objectifs sans donner vraiment les moyens pratiques de les mener à bien.

Représentation opposée des niveaux d'exigences réglementaires (Figure 51).

- 65% des répondants au questionnaire internet pensent que les niveaux de performances exigés pour les bâtiments neufs par la RT 2012 sont suffisants.
- 61% pensent qu'ils sont insuffisants dans l'ancien.

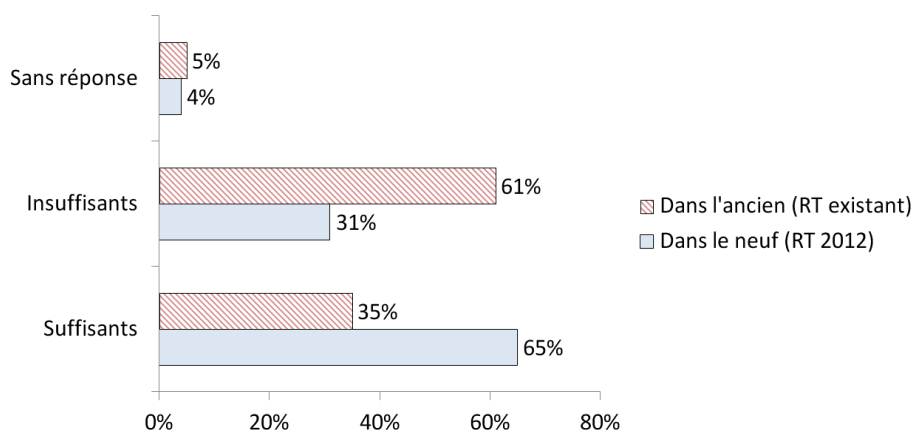


Figure 51 : Exigences des réglementations thermiques

Les répondants au questionnaire internet confirment l'insuffisance de la réglementation utilisée dans le cadre de rénovation en vue de l'atteinte des objectifs du facteur 4 dans l'ancien. Au contraire, la réglementation sur les bâtiments neufs avec la nouvelle RT 2012 semble avoir convaincu une majorité des enquêtés. Malgré tout, les résultats spécifiques aux acteurs ligériens viennent modérer les conclusions au niveau des exigences demandées dans le bâti ancien. En effet 53 % des acteurs localisés dans la Loire pensent que la RT existante est suffisante alors que le ratio reste inférieur à 30 % dans les autres régions (Annexe 4, Tableau 78).

Pour d'autres acteurs, l'insuffisance des réglementations n'est pas forcément corrélée au manque d'exigences mais à l'absence de vérifications de ces dernières. De fait, en l'absence de contrôles systématiques des projets en neuf et rénovation, la réglementation thermique n'est que très peu appliquée. Un acteur d'une agence de l'énergie évoque un non respect des exigences de la RT 2005 dans plus d'un chantier sur trois. De plus, en cas de contrôle, les conséquences pénales d'un non respect s'avèrent minimales pour les acteurs pris en défaut.

« Quand la RT2005 est sortie, j'ai entendu dire au niveau du neuf qu'il y avait encore 30 à 40% qui ne la respectaient pas. Sachant qu'il n'y a pas ou très peu de contrôles » (E-INST-5).

« Or la réglementation thermique n'est pas appliquée » (E-ASSO-1).

« S'il n'y a que des remontrances verbales, tout le monde s'en fout. A l'inverse, reprendre ses travaux peu vite devenir non rentable pour une entreprise » (E-SYND-1).

L'une des explications avancées afin de justifier de tels écarts entre exigences théoriques et performances réelles constatées est à rechercher au niveau des méthodes de calcul utilisées par les réglementations. De fait, pour nombre d'interrogés, à défaut d'être simples et prédictifs, les calculs

réglementaires sont complexes et approximatifs.

En effet, les méthodes de calcul de la réglementation restent conventionnelles. Basées sur des hypothèses arrêtées et pour certaines critiquables et critiquées, la réglementation ne permet en aucun cas d'estimer la consommation réelle d'un bâtiment. Tenter une comparaison entre réalité et simulations semble alors impossible laissant douter de la réelle efficacité et pertinence d'une méthode si peu réaliste. C'est notamment au travers des conventions et coefficients utilisés que les limites et critiques à la méthode réglementaire sont les plus virulentes. " Coefficient d'énergie primaire sous évalué ", "utilisation de pondération nationale « arbitraire » et « camouflée »", "formules complexes", sont en effet des éléments avancés par les acteurs rencontrés en entretiens pour caractériser une méthode qualifiée d' « usine à gaz ».

La pondération nationale fait référence à la modification du coefficient d'énergie primaire au travers de l'utilisation d'un coefficient multiplicateur arbitraire et basée sur des choix politiques ou environnementaux. Pour représenter cela, nous pouvons prendre l'exemple de l'énergie bois. L'énergie bois possède un coefficient d'énergie primaire égal à 0,6. Cette valeur ne correspond à aucune réalité physique, un kWh_{ef} ne pouvant être produit par 0,6 kWh_{ep} (l'énergie primaire est toujours supérieure à l'énergie finale du fait des pertes dues au transport et à la transformation). Or, si une telle valeur permet de promouvoir l'utilisation d'une énergie dont les émissions de carbone associées sont moins importantes que celles issues d'énergie fossile elle complexifie la méthode et la rend peu claire. Enfin, elle éloigne de l'objectif étant donné qu'une amélioration fictive de la performance d'un bâti sur le papier n'entraîne nullement une réduction des consommations réelles d'énergie. Si l'on reprend l'exemple du bois, les émissions imputables à une consommation équivalente à 1kWh ne sont pas diminuées par un quelconque coefficient. Une remarque identique est souvent faite sur l'énergie électrique, bien que dans ce cas le coefficient d'énergie primaire ne semble pas au premier abord réduit via une variable arbitraire, mais sujet à une sous estimation.

La nouvelle réglementation thermique 2012 utilisée dans le neuf ne semble pas résoudre ces problèmes. La complexité apparaît même exacerbée et l'utilisation de coefficients alourdie. La RT 2012 voit en effet les consommations maximales estimées être influencées par des variables telles que l'altitude, le type de logement ou encore la surface, laissant la porte ouverte à une manipulation des résultats. La complexité des nouvelles réglementations se retrouvent être l'un des points les plus discutés au travers du forum de discussions étudié. De fait les méthodes de calcul de la RT2012 ayant fait leur apparition durant le suivi de ces discussions, de nombreux débats et critiques ont été émis :

« Je me suis amusé à prendre quelques cas extrêmes, juste pour comparer. Pour moduler le Cepmax, donc la conso maximale autorisée, il existe 5 paramètres (parfois interdépendants)

* $Cep_{max} = 50 \times M_{type} \times (M_{géo} + M_{alt} + M_{surf} + M_{GES})$

* M_{type} : suivant le type de bâtiment, on passe de 1 à 2.1 (si, si : 1 pour habitation, 2.1 pour foyers de jeunes travailleurs cat CE2). Attention, ce n'est pas un paramètre additif, mais multiplicatif ! (donc +110% d'un cas à l'autre).

* $M_{géo}$: comme aujourd'hui, modulation suivant la zone (H1 à H3), on passe de 0.7 à 1.4

* M_{alt} : comme aujourd'hui, modulation suivant l'altitude (0 à >800m) : 0 à 0.4

* M_{surf} (à priori réservé à l'habitation seulement) : plus c'est petit, plus ça consomme. Formule très compliquée non linéaire mais mise au point par nos GI (gentils ingénieurs) pour coller à la courbe "isoprix", car plus le logement est petit, plus il sera coûteux de le rendre performant (avec les techniques françaises=PAC). La RT2012 autorise donc à construire plus mal et plus énergivore dans ce cas. (...)

Comme vous l'aurez tous remarqué, tout cela transpire la simplicité et permet de dire (aux médias) que la RT2012, réglementation ambitieuse et avant-gardiste, a pour but de limiter la consommation des futurs bâtiments à 50 kWh/m²/an. Dans la réalité, le seul paramètre qui reste totalement figé, c'est le nombre de jours dans l'année » (F-ARCH-Raphael Bobeda-30/10/2010).

Les RT, par leur manque d'ambition, leur complexité, les pondérations auxquelles elles font appel apparaissent comme des freins à la réussite du facteur 4 (Tableau 37). En l'absence de vérification, le respect de ces réglementations est limité et ce d'autant plus que les solutions techniques nécessaires pour atteindre les performances souhaitées ne sont pas toujours applicables.

Tableau 37 : La réglementation thermique : limites et entraves au facteur 4

Limites au facteur 4	Acteurs reliés
❖ Absence de cohérence et de portage politique	- Politiques et institutions
❖ Performance des projets non vérifiée	
❖ Absence de sanction	
❖ Calculs réglementaires complexes et approximatifs	
❖ Réglementations peu exigeantes	

➤ Les règles d'urbanisme, des contradictions aux objectifs énergétiques ?

De par leur histoire, les villes françaises possèdent des zones à l'intérieur desquelles des ouvrages, voire des quartiers sont protégés et soumis à des règlements d'urbanisme. Ces réglementations, les interdits, obligations et incitations qu'elles portent s'entrecroisent avec les RT et souvent contredisent les objectifs énergétiques.

Les zones protégées, les secteurs sauvegardés, les ZPPAUP (zones de protection du patrimoine architectural, urbain et paysager) ou encore les zones d'intérêt patrimonial sont des termes bien souvent employés lors des entretiens pour expliquer une situation contradictoire. Ces zones représentent des surfaces très importantes notamment dans les centres anciens des villes françaises. Délimitées par des documents d'urbanisme (PLU, etc.), ces zones ont vocation à défendre le patrimoine immobilier présentant des caractéristiques esthétiques ou culturelles singulières. Or, au sein de ces périmètres protégés, des conditions particulières d'intervention notamment sur façade rendent, selon les dires des acteurs rencontrés, incompatibles l'atteinte de la haute performance énergétique. Sur ces territoires, et pour chaque cas, la validation d'une opération visant à améliorer la performance énergétique et modifiant le visuel d'un bâti est soumise à l'accord d'un Architecte des bâtiments de France (ABF). Or, la position de ces architectes n'est pas homogène au niveau national et chaque réponse et action envisagée sont soumises à une variabilité dépendante de la sensibilité aux aspects environnementaux de l'ABF local :

« Les ZPPAUP sont un réel frein. On est confronté à une double réglementation qui s'oppose : la réglementation patrimoniale et la réglementation thermique » (E-SYND-1).

« L'ABF, en tant qu'humain et selon sa sensibilité aux questions environnementales sera pour beaucoup dans le niveau de performance obtenue » (E-ARCH-1).

Généralement, les solutions techniques visant à modifier les façades sont rejetées ou soumises à des contraintes telles qu'elles ne rendent possible qu'une réplique à l'identique des composants déjà présents. En particulier l'isolation par l'extérieur de monuments possédant une qualité architecturale spéciale (moulures, façades classées) devient impossible et oblige à une intervention sur les faces intérieures des parois. Or, comme bien souvent en zones occupées, l'isolation par l'intérieur constitue une contrainte. Trois raisons sont avancées par les acteurs rencontrés. Premièrement, elle nécessite dans le cas de rénovations lourdes, une évacuation des habitants et un relogement. Deuxièmement, elle ne permet que très rarement de traiter les ponts thermiques entre parois. Enfin, en cas d'épaisseur importante d'isolant, elle réduit les surfaces habitables et dégrève alors une part des recettes lorsque le logement est loué ou revendu⁴² :

« Lorsque l'isolation extérieure n'est pas possible, l'isolation intérieure peut être une contrainte du fait de la perte de surface habitable. Qui dit perte de surface dit perte de recette sur les loyers dit aussi pertes de subvention qui sont calculées sur les m². A la limite, j'isole un peu moins et j'y gagne un peu plus » (E-ASSO-3).

Si la majorité des acteurs interrogés identifie les règles d'urbanisme comme freins aux objectifs

⁴² Si l'on prend l'hypothèse d'un logement de 10 mètres par 10 soit 100 mètres carré situé à Paris, une isolation intérieure de 15 cm peut réduire la surface de l'ordre de 6%. En prenant un prix moyen de 7000€/m² cela correspond en l'absence de plus value due à l'amélioration du logement à une perte nette de 42000 €.

de performance énergétique, un petit nombre exprime cependant son désaccord. Pour ces derniers, les lois actuelles permettent la rénovation thermique de bâtiment et ce quelles que soient les contraintes réglementaires imposées. Par conséquent, le réel frein est issu d'une méconnaissance des textes réglementaires par les acteurs plutôt que sur les contenus mêmes de ces règlements.

En effet, depuis juillet 2011, un nouveau décret⁴³ faisant suite à la loi Grenelle 2 promeut la performance énergétique. De par ce décret et sauf disposition d'urbanisme contraire, l'autorité compétente pour délivrer un permis de construire ou d'aménager ne peut s'opposer à l'utilisation de procédés et matériaux visant à réduire les consommations d'énergie et émissions de GES d'un bâtiment. Si ce décret conforte les discours d'acteurs, il est cependant à relativiser au vu des ZPPAUP et autres zones protégées. En effet en ZPPAUP, transformée récemment en AMVAP (Aire de mise en valeur de l'architecture et du patrimoine), les modifications restent soumises à l'approbation de l'ABF. En cas de désaccord entre autorité délivrant le permis de construire et l'ABF, un recours auprès du préfet peut être demandé afin d'invalider ou non l'avis⁴⁴.

Règle d'urbanisme, un frein au facteur 4 (Figure 52).

- 39% des acteurs questionnés par internet considèrent les règles d'urbanisme comme un frein ne limitant que peu l'atteinte d'objectifs énergétiques.
- Respectivement, 47% et 8% estiment que les réglementations d'urbanisme constituent un frein important ou très important.

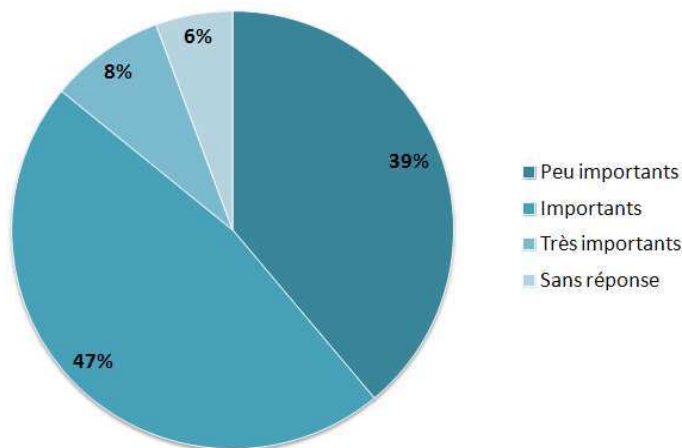


Figure 52 : Impacts des règles d'urbanisme sur la performance énergétique des bâtiments

Ces chiffres reflètent les discours relevés lors des entretiens. Les règles d'urbanisme impactent pour la majorité des enquêtés les projets de rénovation. L'absence d'éléments entravants pour 39% des interrogés peut être recherchée dans leurs expériences professionnelles, leurs relations avec l'ABF ou encore la flexibilité des règles d'urbanisme sur leur territoire d'action.

⁴³ Décret n°2011-830 du 12 juillet 2011 pris pour l'application des articles L.111-6-2, L. 128-1 et L. 128-2 du code de l'urbanisme.

⁴⁴ Article L.642-6 du Code du Patrimoine issu de la loi Grenelle II du 12 juillet 2010 (art.28, I).

Ces recueils et données chiffrées traduisent, par l'exemple spécifique des ZPPAUP, un état général du système au sein duquel la multiplication des règles nécessaires (prévention du patrimoine, mais aussi accessibilité des personnes ou sécurité du bâti) rendent difficiles le déploiement des bâtiments performants (Tableau 38). Si une conciliation des contraintes est à rechercher entre les acteurs, elle sous-entend cependant de créer un dialogue et une concertation : entre intervenants d'un projet, et entre les prescripteurs qui définissent les contraintes réglementaires. Or, comme nous l'avons déjà évoqué, le rempart érigé par l'absence de dialogue freine amplement la création d'une concertation entre « partenaires » d'un projet. Ce point met en avant les possibles liens entre freins et les limites de certains leviers.

Tableau 38 : Les règles d'urbanismes : limites et entraves au facteur 4

Limites au facteur 4	Acteurs reliés
❖ Contradiction entre performance et valeur architecturale	- Politiques, collectivités et ABF

Entre réglementations, dialogue, coordination et compétence, les discours des acteurs rencontrés révèlent l'existence flagrante et toujours d'actualité de problèmes de fond limitants. Si ces points restent entravants, certains propos relevés soulèvent le fait qu'ils ne constituent qu'une part des limites. En effet, le coût d'un projet mais aussi le maintien des modes de faire et de consommer semblent eux aussi contraindre la réussite d'un projet performant, et plus généralement l'atteinte du facteur 4.

➤ **La contrainte financière, un élément entravant.**

L'une des limites à l'atteinte des objectifs du facteur 4 les plus citées au travers des entretiens est sans conteste l'aspect financier des projets. Les contraintes financières se traduisent au travers de deux aspects reliés mais différents : le coût d'un projet performant et l'absence d'aides financières suffisantes :

« On retrouve toujours le fric à la base » (E-INST4).

« Malgré tout il y aura des coûts, il va falloir payer le prix des objectifs » (E-SYND-1).

« Le grenelle 2 a dit 38% d'économies d'énergie pour les bâtiments communaux et de l'Etat. Le problème est qu'il n'y a pas d'argent » (E-INST4).

Pour les interviewés, les projets de rénovation voire de construction neuve présentent un coût jugé inacceptable. « L'acceptabilité » d'un projet d'un point de vue financier est reliée dans le neuf à la notion de surcoût alors que le faible retour sur investissement des travaux de rénovation est souvent mentionné dans l'ancien pendant les entretiens. Lors de construction neuve, le budget

alloué à un projet «basse énergie » est très souvent comparé au prix qu'aurait coûté ce même bâti mais dont les performances auraient été inférieures (niveau réglementaire RT 2005). D'une hauteur de 10 à 15% selon les enquêtés, la différence, déjà contraignante dans le neuf, semble souvent rédhibitoire face aux difficultés rencontrées pour équilibrer un projet dans l'ancien.

En effet, avec des retours sur investissement dépassant largement la décennie, l'économie engendrée par des travaux de rénovation énergétique est perçue comme peu rentable :

« Pour une construction de 1970-1980 de 120 à 130 m², on est pour des matériaux courants (polystyrène) autour de 50000 euros » (E-ASSO-2).

« Une isolation de façade aujourd'hui c'est 50 ans de retour » (E-INST4).

Face au faible retour sur investissement, deux situations émergent. La première situation regroupe des acteurs qui par obligation ou politique d'amélioration se permettent des travaux dont la rentabilité financière à court terme est inexistante. Dans ce premier groupe, les bailleurs sociaux sont très souvent cités. Possédant une « stabilité financière » due aux revenus des loyers de logements dont les emprunts sont remboursés, ces maîtres d'ouvrage amortissent les bilans négatifs des projets de rénovation. Cependant, dans certains cas, même en ayant la capacité d'investissement, les maîtres d'ouvrage ne voient pas la nécessité d'une rénovation énergétique. De fait, en l'état actuel du système, la performance énergétique d'un bâti n'est que très rarement un critère de choix d'un logement. La localisation, la fonctionnalité ou encore la taille d'une habitation reste encore largement ancrée comme élément de valeur d'une résidence :

« L'énergie n'est que très rarement un critère de choix d'un logement » (E-INST4).

« L'aspect fonctionnel d'un bâtiment prime sur la performance énergétique » (E-INST1).

« Même avec un impact sur le prix du bien, la localisation reste l'élément moteur car les gens ont besoin de s'identifier à un lieu » (E-ASSO-3).

Se lancer dans un projet de rénovation énergétique reste donc encore majoritairement motivé par une économie d'énergie et donc d'argent lors de l'utilisation d'un bâtiment. Acceptée ou non, la contrainte d'un long retour sur investissement reste malgré tout un choix disponible uniquement à un faible nombre de maîtres d'ouvrage :

« Les bailleurs sociaux peuvent se permettre des temps de retour longs alors qu'en copropriétés, au-delà de 10 ans de retour sur investissement « c'est même pas la peine d'y aller », notamment pour les personnes âgées cela pose problème » (E-INST4).

« La performance énergétique a un coût que tout le monde ne peut pas absorber actuellement » (E-INST2).

En effet au-delà de la durée, la question de l'investissement initial reste problématique et ce principalement pour les propriétaires occupants. Pour ces MO, à défaut d'être acceptable un

projet devient alors inenvisageable. Les copropriétaires, de par une faible capacité d'investissement et l'absence de trésorerie, sont un des exemples de ces MO. Endettées par la mise aux normes d'équipement de sécurité, d'accessibilité tels les ascenseurs ainsi que par le maintien en état du bâtiment, les trésoreries ne permettent que très rarement de se lancer dans des travaux de rénovation énergétique.

« Les autres travaux, tels que les ascenseurs, dans les copro ont appauvri voire effacé la capacité d'investissement. (...) Actuellement 99% des copropriétés n'ont pas d'avance de trésorerie » (E-INST-4).

Absence de capital et long retour sur investissement sont des éléments qui bien souvent désignent les contraintes financières comme l'un des freins les plus importants voire rédhibitoires au développement de projets de rénovation.

Représentation de la contrainte financière (Figure 53).

- 23% des répondants au questionnaire internet considèrent le coût d'un projet et plus généralement les contraintes financières comme un frein rédhibitoire aux objectifs visés.
- 38% voient une contrainte importante mais devant être consentie au vu de l'urgence climatique et énergétique.
- 38% considèrent le coût comme faible en raison des économies engendrées par une meilleure performance du bâtiment.

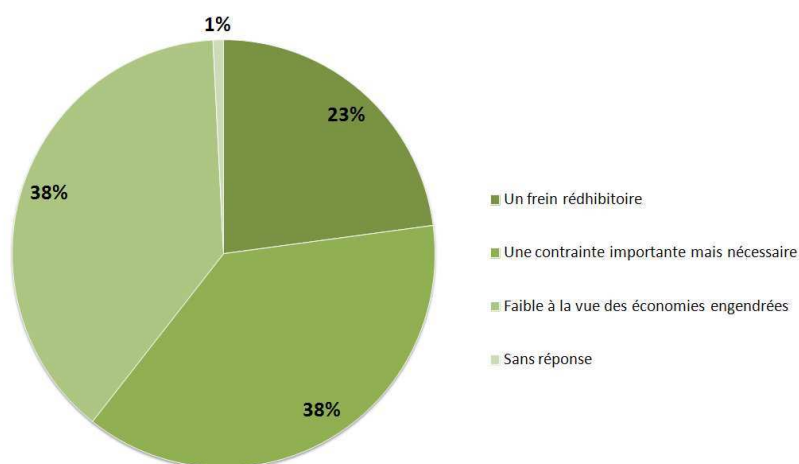


Figure 53 : Représentation de la contrainte financière

Au travers des réponses aux questionnaires, l'importance de la contrainte financière est majoritairement soulignée (plus de 60% des réponses). Si plus du tiers des répondants l'acceptent (contrainte importante mais nécessaire) près d'un acteur sur cinq la trouve rédhibitoire. Pour ces acteurs, le projet est inenvisageable d'un point de vue économique.

Les contraintes économiques sont de plus entretenues par une méconnaissance et une remise en cause des systèmes de financement et d'aides disponibles :

« A l'échelle de nos politiques publiques, on va avoir un frein correspondant à la méconnaissance du coût global, des mécanismes juridiques ou encore des montages financiers que l'on pourrait mettre en place pour prendre en compte la notion de coût global » (E-INST-2).

En effet, si les financements apportent une solution, leurs actuelles modalités, qui changent régulièrement de surcroît, en font indirectement des éléments entravant pour l'atteinte de niveaux de performance élevées. Les aides proposées semblent de fait insuffisantes pour promouvoir des bâtiments permettant de répondre aux exigences du facteur 4. Cette insuffisance dans les aides est couplée pour certains à une mauvaise répartition des ressources financières. Le reproche le plus courant cible l'utilisation d'argent public pour la promotion d'énergie renouvelable ou le remplacement des installations de chauffage conduisant à créer des projets « tape à l'œil » bien plus proches d'un greenwashing que d'une réelle performance :

« Aujourd'hui il y a un argumentaire sur la performance énergétique mais souvent c'est plus du tape à l'œil qu'autre chose. » (E-INST4).

« Une approche globale permettant de sortir les maîtres d'ouvrage d'une approche toute ENR est indispensable » (E-ASSO-2).

La recherche à tout prix d'une rentabilité immédiate d'une opération conduit à une gestion non rationnelle et au coup par coup des projets. La culture économique de court terme qui prévaut dans le milieu du bâtiment ne permet pas de recourir à une vision de long terme absolument nécessaire pour dépasser les contraintes financières. S'il on ne peut nier l'existence de freins et limites imposés par le coût d'un projet, dans certains cas, cette contrainte est perçue comme un « subterfuge » légitimant l'absence d'ambitions des travaux de rénovation et projet de construction. Olivier Sidler du cabinet Enertech de façon très imagée en reprenant les propos de Jacques Chirac exprime cette incohérence de la manière suivante : « *La maison brûle et nous regardons ailleurs, et quand on apporte un extincteur on nous dit qu'il est trop cher ! Oui l'extincteur est peut-être cher mais il est incontournable* » [SIDLER, 2010]. De fait, alors que la majorité des scénarios prospectifs « envisagent » une détérioration significative des conditions climatiques et dans un contexte où le coût de l'inaction apparaît bien plus dommageable que l'actuel surcoût, des questions sur la réelle motivation des acteurs se posent.

Tableau 39 : la question financière : limites et entraves au facteur 4.

Limites au facteur 4	Acteurs reliés
❖ Faible retour sur investissement	- MO
❖ Capacité d'investissement réduite	- MO
❖ La performance énergétique, un critère non prépondérant	- MO
❖ Méconnaissances des systèmes de financements	- MO
❖ Aides financières insuffisantes	- Institutions financières, politiques
❖ Répartition des aides mal adaptées	- Politiques

Au travers de l'ensemble des freins susmentionnés dans les paragraphes précédents, les acteurs professionnels des bâtiments, semblent rencontrer de nombreuses difficultés pour l'atteinte du facteur 4. La majorité de ces freins impactent la capacité du système à développer les aspects d'efficacité énergétique et énergies renouvelables évoqués par la démarche négaWatt. Or même un bâtiment éco-conçu ne garantit pas l'atteinte des objectifs si un changement profond des habitudes et besoins des propriétaires et locataires des logements n'intervient pas. De fait, si l'amélioration de la performance des bâtiments semble amorcée (avec difficulté), elle n'est et ne sera suffisante sans une remise en cause du paradigme actuel et dominant basé sur une consommation toujours plus importante.

➤ L'accroissement des besoins et l'effet rebond.

Améliorer la performance d'un bâtiment n'est pas une volonté nouvelle. Depuis, le premier choc pétrolier et l'apparition des premières réglementations thermiques, la performance des bâtiments n'a cessé de s'accroître. Entre 1975 et aujourd'hui, la consommation par mètre carré a été divisée par plus de deux. Or, sur cette même période, la consommation totale du parc de logements a augmenté. De fait, si les bâtiments sont devenus de plus en plus efficaces, le comportement des locataires et propriétaires a évolué et évolue encore et toujours vers moins de sobriété :

« Les questions comportementales vont dans le mauvais sens et on les ignore » (E-ASSO-1).
 « L'utilisateur et son mode d'habiter est un frein aux objectifs environnementaux » (E-ARCH-1).

Si l'amélioration de l'efficacité du bâti n'est que la continuité d'une démarche entreprise il y a 40 ans, le concept de sobriété prône quant à lui un véritable changement de paradigme situé à

l'extrême opposé du modèle actuel. Le modèle dominant est basé sur une consommation toujours plus importante de biens et de ressources.

Victor LEBOW, un économiste des années 50 fut l'un des premiers à expliciter ce modèle. Pour ce dernier, *«notre économie extrêmement productive ... exigeait que nous fassions de la consommation notre mode de vie, que nous fassions de l'utilisation des biens un rituel, que nous cherchions notre satisfaction spirituelle et celui de notre ego dans la consommation. Nous devons consommer les ressources et les biens, les brûler, les remplacer et les jeter à un rythme toujours plus important ⁴⁵»*. Force est de constater que la consommation ostentatoire est devenue la consommation de tous. Or une telle consommation entraîne la création sans cesse de nouveaux besoins qui éloignent de l'objectif du facteur 4.

La création de nouveaux besoins s'est traduite dans le bâtiment principalement par un accroissement des surfaces habitables ainsi qu'une augmentation des températures de consigne dans les logements. Ne sachant pas traiter l'humain, les concepteurs et ingénieurs ont abordé cette évolution sous un angle technique. Proposant davantage de technologies pour réduire les consommations, ils ont contribué selon les situations à créer un phénomène connu dans la littérature sous le nom d'effet rebond. L'effet rebond des politiques d'efficacité énergétique traduit un changement des comportements. Par exemple, l'amélioration de la performance énergétique des logements induit une économie financière qui permet une utilisation accrue de certains biens et services. Ainsi, un locataire se chauffant à 19°C avant rénovation de son logement du fait d'une facture d'énergie trop élevée aura tendance à augmenter cette température une fois le logement isolé. Le gain d'énergie et d'argent sera donc réduit du fait d'une augmentation du besoin en chauffage des locataires.

Effet rebond dans le bâtiment (Figure 54).

Seules 43% des répondants aux questionnaires internet (soit 104 personnes) connaissent l'effet rebond et ses conséquences. Parmi ces 104 personnes :

- 51% des acteurs considèrent l'effet rebond comme ayant un impact important sur les consommations d'énergie des bâtiments.
- 47% pensent que l'effet rebond est limité.
- 2% estiment qu'il est négligeable.

⁴⁵ « Our enormously productive economy (...) demands that we make consumption our way of life. That we convert the buying and use of goods into rituals, that we seek our spiritual satisfaction, our ego satisfaction in consumption (...) We need things consumed, burned up, replaced and discarded at an ever-accelerating rate. » [LEBOW, 1955]

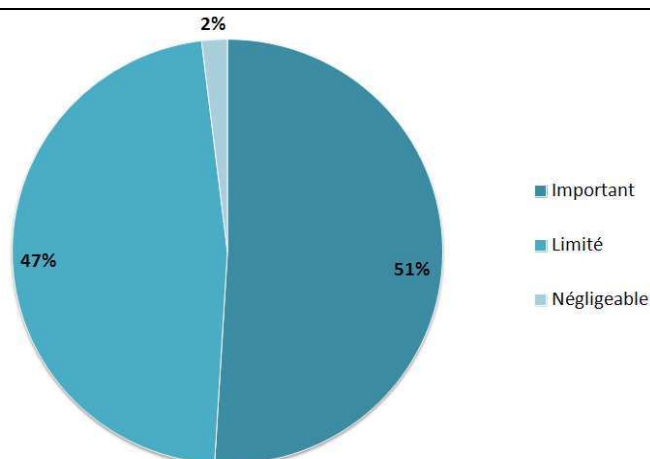


Figure 54 : Impact de l'effet rebond sur les consommations d'énergie.

Même si l'existence de l'effet rebond est admise dans la communauté scientifique, seule une petite moitié des acteurs du bâtiment interrogés semble connaître ce phénomène. De plus, au travers des données recueillies, son ampleur semble faire débat.

D'une certaine manière, les réglementations et méthodes de calcul actuelles tendent à effacer l'importance du comportement des habitants et donc à oublier un possible effet rebond. De fait, la plupart des hypothèses utilisées sont basées sur des données normalisées issues de textes réglementaires. Par exemple, l'article R131-20 du code de la construction et de l'habitation stipule que la température réglementaire d'un local à usage d'habitation est de 19°C. Si la validité d'une telle température peut être discutée, son inadéquation avec les consignes réelles observées (20 à 21°C) est flagrante.

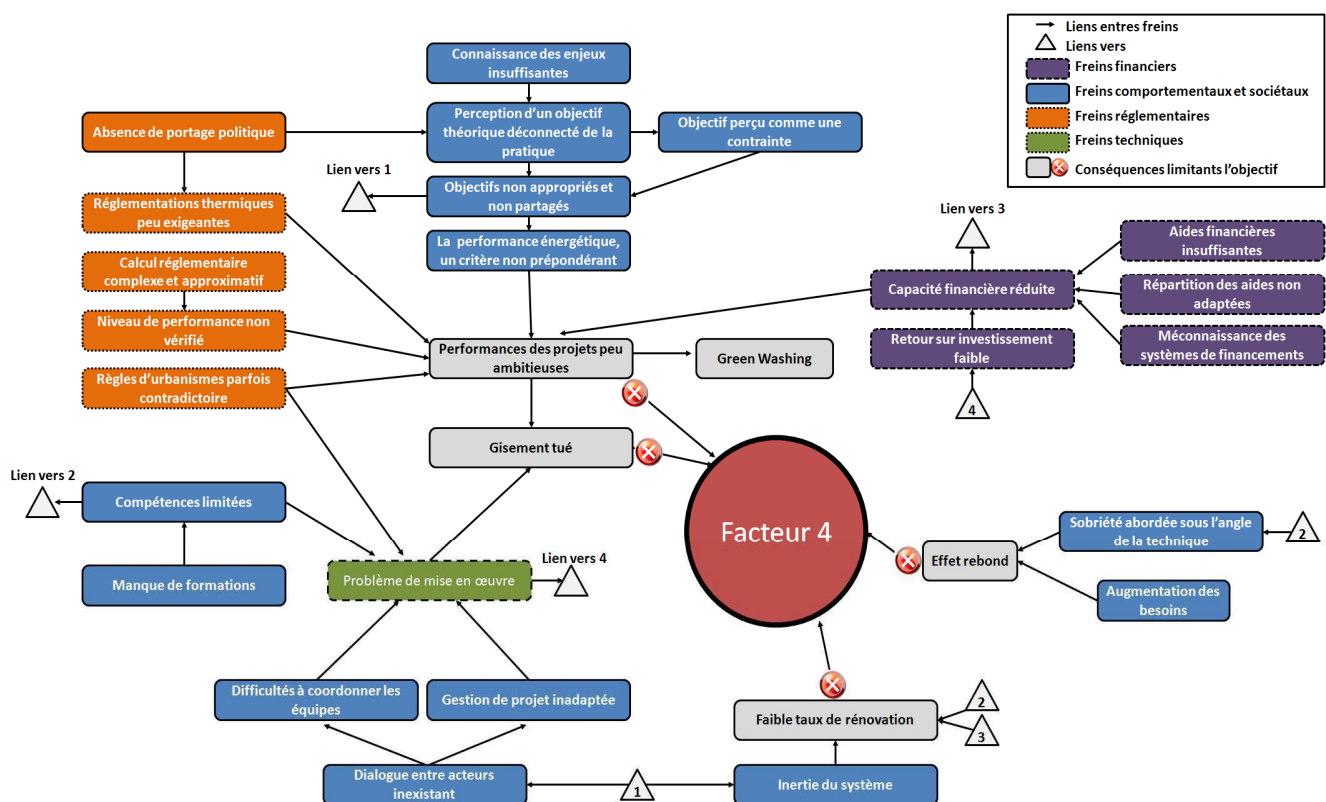
La question de sobriété reste encore très peu maîtrisée dans le bâtiment. Préférant s'intéresser aux aspects technologiques d'efficacité et aux énergies renouvelables, un changement des modes de concevoir et d'utiliser un bâtiment apparaît encore lointain (Tableau 40). Or, au travers de la démarche négaWatt, la question de la sobriété doit théoriquement être traitée en priorité et constitue le premier pas vers l'atteinte du facteur 4.

Tableau 40 : Limites et entraves au facteur 4

Limites au facteur 4	Acteurs reliés
❖ Augmentation des besoins des locataires (surfaces, T°, ...)	- Habitants
❖ Sobriété abordée sous l'angle de la technique	- Concepteurs (Architectes, Ingénieurs).

➤ Les freins au facteur 4 : Bilan.

Les différents freins évoqués au travers des discours d'acteurs semblent impacter de façon négative les objectifs du facteur 4 dans le bâtiment. Si certains freins semblent être spécifiques à un type d'acteurs, d'autres apparaissent communs à l'ensemble des intervenants d'un projet. D'une manière très basique, nous pouvons organiser l'ensemble des freins évoqués en plusieurs catégories. Une étude menée en 2011 dans huit pays du Nord de l'Europe conclut à l'existence de 10 grandes familles de freins [BLOMSTERBERG, 2011] : les freins liés au marché, aux réglementations, aux compétences et connaissances des acteurs, aux coûts de rénovation, aux retours sur investissement, aux comportements des usagers, aux problèmes techniques (3 catégories), ainsi qu'à l'absence de contrôle des niveaux de performance. Si l'ensemble de ces constituent des freins importants et développés durant notre étude, certains d'entre eux ne semblent être que des composants de catégories plus vastes. Ainsi, un second regroupement en quatre grandes catégories peut être effectué, formant alors : la catégorie des freins « comportementaux et sociétaux », des freins « réglementaires », des freins « techniques », et des « freins financiers ». Chacune des catégories et chacun des freins les composants pouvant comme nous l'avons vu interagir entre eux. Les liens entre ces différentes entraves aux facteurs 4 sont représentés dans la Figure 55.



Au travers de la Figure 55, de sa structuration et des interrelations entre éléments, nous pouvons remarquer que les limites évoquées entraînent des conséquences impactant directement le facteur 4. « Green Washing », « Gisement tué », « effet rebond », « projet peu ambitieux » sont des conséquences de l'ensemble des freins évoqués. L'impact et l'ampleur de ces différentes catégories de freins restent cependant variables selon les acteurs, leur profil, leurs expériences, et les projets. Malgré tout, les paroles d'acteurs recueillies semblent concorder pour donner une importance bien plus grande aux freins financiers et comportementaux. Ce ressenti est corrélé par les données des questionnaires internet :

Importance des catégories de freins pour l'atteinte du facteur 4.

- Sur une notation comprise entre 1 (peu impactant) et 5 (très impactant), les freins financiers, comportementaux et réglementaires atteignent en moyenne une note respective de 4/5, 3,8/5 et 3,7/5 (Tableau 41).
- Les freins techniques sont considérés comme les moins impactants (note de 2,8/5).

Tableau 41 : Classement des catégories de freins

	Classement par importance	Note
Freins financiers	1	4/5
Freins comportementaux	2	3,8/5
Freins réglementaires	3	3,7/5
Freins techniques	4	2,8/5

L'étude approfondie des réponses corréle ce classement. Alors que plus de 40% des acteurs désignent les freins financiers comme très impactants, 33% font de même pour les freins comportementaux. En ce qui concerne les freins réglementaires, la note de 4/5 est majoritaire. A l'inverse près d'un acteur sur 5 (23%) considère les freins techniques comme peu impactants (note de 1/5) (Figure 56).

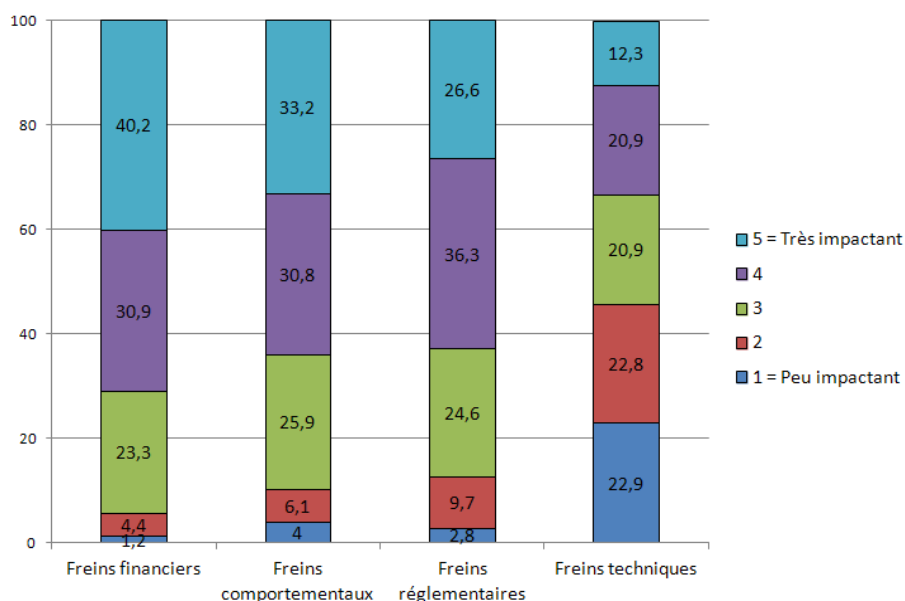


Figure 56 : Notation des catégories de freins

Cette vision générale de l'importance des freins montre cependant quelques variations selon les acteurs (Tableau 42). En utilisant l'analyse factorielle des correspondances multiples (Annexe 5, Tableau 83), deux groupes se distinguent après classification des modalités. La première classe regroupe 109 individus. Près de la moitié se définissent comme appartenant à la maîtrise d'œuvre (Moe) (44,95% dans la classe contre «32,93% en moyenne ; valeur test 4,71). Plus que tout autre, les Moe considèrent les freins réglementaires et techniques réciproquement comme très impactants (note de 5/5) (34,86% dans la classe contre 28,05% en moyenne ; valeur test 2,63) et peu impactants (note de 1/5) (32,11% dans la classe contre 25,61% en moyenne ; valeur test 2,58). La seconde classe regroupe 55 individus. Près d'un tiers se définissent comme appartenant à la maîtrise d'ouvrage (MO) (29,09% dans la classe contre 15,85% en moyenne ; valeur test 2,99). Pour les individus de cette seconde classe, les freins réglementaires sont peu impactants (note 2/5) (25,45% dans la classe contre 9,76% en moyenne ; valeur test 4,45) alors que les freins techniques peuvent selon les cas s'avérer limitants (Note de 3/5) (38,18% dans la classe contre 21,95% en moyenne ; valeur test 3,30). De plus, et plus que tout autre, les individus de cette classe perçoivent les freins comportementaux et sociétaux comme faibles (note 2/5) (16,36% dans la classe contre 10,37% en moyenne ; valeur test 2,76).

Tableau 42 : Représentations des freins par groupe d'acteurs.

	Groupe 1	Groupe 2
Acteurs	Moe	MO
Freins	Réglementaires : note de 4/5 Techniques : note de 1/5	Réglementaires : note de 2/5 Techniques : note de 3/5 Comportementaux et sociétaux : 2/5

Au travers des chiffres présentés, si les freins financiers ne semblent pas spécifiques à un acteur en particulier, des divergences d'opinions se dessinent pour les 3 autres catégories de freins. Alors que la maîtrise d'œuvre accorde plus d'importance aux freins réglementaires, ils ne sont que peu cités par la

maîtrise d'ouvrage. A l'inverse, la maîtrise d'œuvre semble considérer les freins techniques comme non limitants contrairement à la maîtrise d'ouvrage.

Chacune de ces catégories de freins est liée à un ou plusieurs acteurs du système bâtiment. Par exemple, une capacité d'investissement réduite est directement imputable au maître d'ouvrage alors qu'un matériau ou un système mal mis en œuvre sera lié aux entreprises intervenant sur un chantier. Ainsi, parmi les acteurs d'un projet, peut-on considérer que certains d'entre eux sont des éléments moteurs et inversement des freins au facteur 4 ? Pour répondre à cette question, les interrogations ne doivent plus porter sur l'acteur lui-même mais sur la perception qu'il a des autres. En effet, lorsqu'il s'auto évalue, un acteur semble le plus souvent considérer sa catégorie comme un élément moteur. Il est très rare qu'une remise en question de ses propres actions et de celles de ses confrères apparaisse. Quand une difficulté est « pointée du doigt », elle est dans la majorité des cas imputée à une tierce partie dont le manque de compétences ou connaissances rend inaccessible l'objectif visé.

« Je ne vois pas la performance comme un élément et une obligation de faire, c'est aussi une autre façon de penser le logement, l'immeuble, de l'insérer différemment dans le paysage, penser différemment. Cela fait appel à un autre type d'ingénierie, d'organisation dans l'entreprise. Et il y a des points de blocage chez les bailleurs pour concevoir ce type de nouvel immeuble » (E-INST-3).

Comme pour les freins, la désignation d'un acteur comme élément moteur ou non d'un projet varie selon les situations, les relations entretenues et les projets. Ce n'est donc pas au travers d'une seule vision d'acteur qu'une identification du statut limitant d'une profession peut être appréciée. Pour tenter de « catégoriser » les intervenants, nous utilisons donc ici des résultats des questionnaires internet :

Perception des acteurs par les acteurs.

La cartographie des acteurs par l'intermédiaire d'un diagramme ternaire (Figure 57) permet de classer les acteurs selon trois grands pôles : moteurs, neutres, limitants. La position de chaque acteur dans le diagramme est obtenue au travers des réponses à la question 7 du questionnaire internet (Annexe 3). Chaque répondant définit pour chaque acteur la perception qu'il a de ce dernier. Le pourcentage de réponse pour chaque qualificatif d'acteur constitue alors ses coordonnées dans le diagramme ternaire (Annexe 6).

Les résultats montrent que les intervenants de la maîtrise d'ouvrage (bailleurs sociaux, collectivités) et de la maîtrise d'œuvre (Bureau d'études, architectes), sont majoritairement considérés comme moteurs lors de projets de construction et rénovation performante.

Si aucun des acteurs n'est à proprement désigné comme frein au facteur 4, les réponses dans la zone centrale du graphique (zone mitigée) se répartissent en deux pôles. Le premier pôle regroupe des acteurs considérés comme neutres à limitants. Parmi eux, les établissements financiers, les copropriétaires et locataires ainsi que les entreprises du second œuvre sont majoritairement cités. Le second groupe, dans la zone mitigée mais plus proche du pôle moteur (acteurs mitigés-moteurs) rassemble les industriels et entreprises du gros œuvre de même que les politiques.

acteurs du bâtiment comme moteur. Ces réponses sont couplées à une vision où l'ensemble des problématiques énergétiques et environnementales sont partagées par les éléments humains du système bâtiment (Groupe A). A l'inverse, un acteur estimant que les problématiques ne sont pas partagées aura tendance à définir l'ensemble des acteurs comme des freins ou des éléments neutres (Groupe B).

De plus, selon la localisation géographique, les réponses montrent des variations quant à la désignation d'un acteur en tant qu'élément moteur. Par le biais de tableaux croisés, quatre acteurs montrent des particularités « régionales » : les architectes, les bailleurs sociaux, les établissements publics et les fédérations du bâtiment. Ainsi, en comparant le département de la Loire, à la région Rhône-Alpes (Loire exceptée) et aux autres départements nous remarquons :

- Alors que les architectes sont perçus comme moteurs à 56% et 49% réciproquement en Rhône Alpes et dans les autres départements, ce taux monte à 74% dans la Loire (Annexe 4, Tableau 79).
- Alors que les bailleurs sociaux sont perçus comme moteurs à plus de 74 % en Rhône-Alpes (hors Loire), seul 50% et 48% des acteurs font de même dans la Loire et dans les autres départements de France (Annexe 4, Tableau 80).
- Les établissements publics et associatifs sont désignés comme des acteurs moteurs à plus de 84% dans la Loire et en Rhône-Alpes, ce taux descendant à 65% dans les autres départements (Annexe 4, Tableau 81). Dans la Loire, la forte mobilisation des ALE (Agence Locale de l'Energie), EIE (Espace Info Energie) ainsi que la présence de financement « important » (ANRU, EPASE, ...) pour réhabiliter la ville peuvent expliquer ces chiffres.
- Enfin, si les fédérations du bâtiment semblent être moteurs dans la Loire et en Rhône-Alpes, cette vision n'est partagée qu'à hauteur de 40% dans les autres départements (Annexe 4, Tableau 82).

Ainsi, le partage des objectifs et de leur appropriation par les acteurs, couplés aux appartenances géographiques des répondants sont des éléments qui orientent la perception d'un acteur en tant qu'élément moteur, frein ou neutre.

De par les freins qu'il rencontre, le système bâtiment, apparaît encore assez loin d'une dynamique permettant un changement vers une diminution réelle et globale de ses consommations énergétiques. Les actions, moyens, compétences et connaissances mobilisés semblent encore partiellement ou totalement en « opposition » avec les objectifs poursuivis. Malgré tout, des solutions ou leviers peuvent être trouvés. Souvent évoqués par les acteurs interviewés, ces leviers proposent des alternatives permettant de transiter vers une performance d'usage supérieure. Ces leviers visant à modifier les comportements, à développer les compétences ou à changer les outils à disposition des acteurs du bâtiment reprennent les mêmes catégories que les freins évoqués.

3.3. Les leviers, des dispositions pouvant conduire au facteur 4.

Les solutions ou leviers visant à atteindre les objectifs du facteur 4 dans le bâtiment ont été le plus souvent évoqués au travers de la dernière phase (Amélioration) du guide d'entretien IDPA.

Pour mémoire, l'objectif de cette phase était d'identifier les actions et instruments disponibles ou à créer, c'est-à-dire les leviers considérés comme efficaces pour la résolution des problèmes. Ces leviers sont définis par leur capacité à modifier l'état du système afin de le faire cheminer d'une situation initiale (actuelle) vers une situation prospective conforme à l'objectif souhaité.

➤ **Montrer la voie par la sensibilisation et les études prospectives.**

Afin de combler l'écart entre objectif théorique et réalité pratique, des trajectoires vers le facteur 4 doivent être tracées. Pour répondre à cela, les scénarios prospectifs apparaissent comme des outils permettant d'appréhender les étapes d'un changement profond. En effet, ces scénarios semblent indispensables pour passer du global au local et amorcer une prise de conscience permettant d'orienter les premiers pas des acteurs en direction des objectifs du facteur 4.

Rôle des scénarios prospectifs (Figure 59).

- Sur 249 réponses, 71% (177 répondants internet) ont connaissance des scénarios prospectifs (Scénario du CLIP, scénario négaWatts, ...)
- Pour ces 177 répondants, 59% estiment que les scénarios prospectifs sont un moyen de sensibiliser et de frapper les esprits.
- 33% pensent qu'ils permettent d'ouvrir son champ de décision vers de nouvelles solutions.
- Seuls 6% n'y voit qu'une approche théorique déconnectée des réalités du terrain.

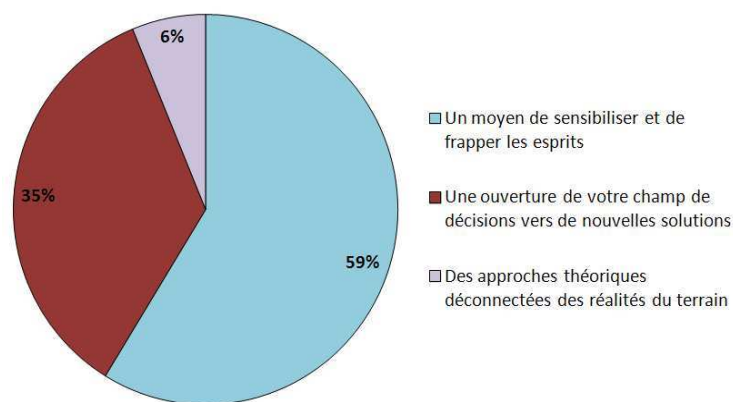


Figure 59 : Rôle des scénarios prospectifs.

Au travers de ces données, le rôle des scénarios est de frapper les esprits, de faire en sorte que chaque acteur puisse à son niveau ouvrir autant que possible son champ de décision vers des solutions qui au dire des acteurs s'avèrent chaque jour de plus en plus nécessaires.

Si les scénarios sont un vecteur de sensibilisation, leur étude dans le chapitre 2 montre que la technicité de ces derniers les rend peu audible auprès de l'ensemble de la population. On assiste alors à une sensibilisation centrée sur des acteurs pour la plupart déjà sensibilisés.

« Les scénarios ont un rôle incitatif (...) Le problème c'est que l'on touche le plus souvent les personnes qui

connaissent déjà les enjeux. Ceux qui n'en n'ont rien à faire ne viendront pas spontanément. » (E-INST4).

« Les personnes les plus sensibilisées forment une bulle » (E-ASSO-2).

Vouloir sensibiliser reste donc un vœu pieux tant que les messages se contentent de prêcher des convertis. En effet, la sensibilisation dans son mode actuel, si elle est perçue comme indispensable, reste néanmoins limitée dans son efficacité. Ainsi, si la sensibilisation au sens général peut être un levier, c'est au travers de son contenu mais aussi et surtout par sa capacité à porter un message au-delà d'un microcosme spécifique.

Perception de l'efficacité de la sensibilisation en tant que levier au facteur 4 (Figure 60).

- La majorité des répondants au questionnaire internet (53% soit 131 acteurs) considèrent la sensibilisation comme efficace mais limitée
- Respectivement 9% et 23% ont une vision de la sensibilisation comme un levier très efficace et efficace.
- Moins de 14% voient en la sensibilisation une action peu efficace voir inefficace.

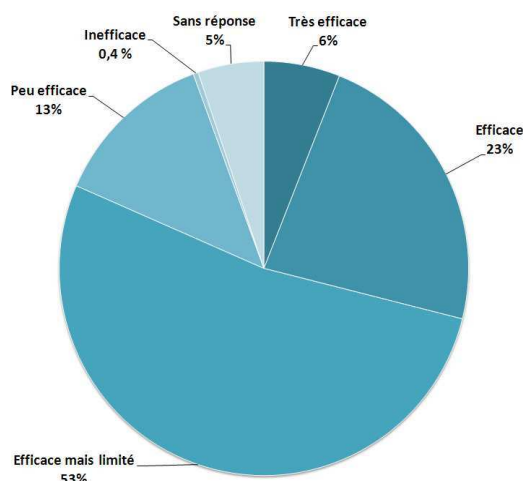


Figure 60 : Impact de la sensibilisation.

La perception majoritaire de la sensibilisation comme levier efficace pousse à développer cette méthode de transmission des enjeux. Malgré tout, si l'efficacité ne peut être niée, la limite ressentie d'une telle méthode s'avère prépondérante pour les acteurs interrogés.

La limite de la sensibilisation en tant que levier efficace soulève deux questions : comment transmettre une information à des acteurs qui la retranscriront dans leur comportement quotidien ? Comment informer les gens, sur quoi, avec quelle légitimité, avec quelle capacité à vraiment changer les comportements et les habitudes au-delà d'une simple injonction morale ?

Les réponses à ces questions constituant un sujet en soi, nous aborderons ici des pistes évoquées par les acteurs afin de permettre de lever les limites mêmes des actions de sensibilisation.

➤ **Un raisonnement à adapter, un format à respecter.**

Le point le plus important d'une sensibilisation est sa capacité à interpeler un individu, à transmettre une information l'invitant à modifier sa vision du système, à changer ses habitudes et ses comportements. Trop souvent les campagnes de sensibilisation s'adressent à la masse et non à l'individu lui-même. La normalisation des comportements tend à promouvoir un message adapté à un groupe sous la forme d'injonction sans qu'aucune distinction entre acteurs ne soit faite. Or, si les comportements peuvent être considérés comme identiques, les réponses à apporter ne peuvent faire l'objet d'un message commun. De fait, chaque acteur a un raisonnement l'ayant conduit à formaliser ses modes de faire et d'agir. La sensibilisation de chaque individu doit donc s'attacher à modifier ces raisonnements. Or, des caractéristiques telles que l'âge, le sexe, la capacité financière sont autant d'éléments à prendre en compte pour adapter le message.

« Il y a autant de raisonnements que d'individus. S'adresser à des propriétaires privés, c'est un travail de fourmis, chacun à un âge, des moyens financiers » (E-ASSO-3).

« La sensibilisation, la pédagogie adaptée au contexte de la réhabilitation est un levier fort. Il faut cependant ne pas faire de la théorie mais de la pratique adaptée à la personne » (E-INST-5).

Ces messages doivent s'inscrire dans la durée, être clairs et concis, pédagogiques mais non infantilisants. En effet, trop d'informations dispensées sans grande cohérence conduit à rejeter un message et à créer des situations où le changement est perçu comme contraignant.

Comment transmette un tel message ? Certains acteurs évoquent l'utilisation des techniques de marketing comme solution. De fait si l'on prend la définition même du dictionnaire, le marketing est « une méthode de vente, utilisant toute la palette des médias (presse, télévision, Internet, publipostage, téléphone) et visant à toucher un client potentiel de façon aussi personnalisée que possible. Pour cela des actions sont entreprises afin de connaître, de prévoir et, éventuellement, de stimuler les besoins des consommateurs à l'égard des biens et des services et d'adapter la production et la commercialisation aux besoins »⁴⁶. En effet, on peut voir en ces techniques qui ont promu certains besoins et objets au rang d'éléments indispensables, une « arme » réversible promulguant non plus la consommation mais la sobriété ou l'efficacité ostentatoire. Comme l'ont évoqué certains acteurs, l'intérêt est de rendre « sexy » et visible les économies d'énergie, donner envie de mieux consommer mais surtout permettre de comprendre l'intérêt d'un tel changement. Rendre le changement crédible et désirable afin de convaincre le plus grand nombre des avantages apportés par une modification du paradigme actuel se retrouve dans le forum :

"Il faut réagir. Mais comment ? En posant le diagnostic ? la litanie des catastrophes n'est pas un diagnostic. En mettant en valeur les liens de cause à effet de ce qui nous arrive, et en proposant, en créant un autre monde. Et

⁴⁶ <http://www.larousse.fr/encyclopedie/nom-commun-nom/marketing/68328>

surtout, en donnant envie, en le rendant crédible, désirable. Ce n'est pas le changement de mode de vie de notre petite poignée de convaincus qui sauvera la planète, hein ! Il faut donc trouver les mots qui rendront audibles au plus grand nombre, les avantages du choix d'un modèle écologique (...) » (F-ARCH-Vesna Truchetet-21/02/09- Reprise de la citation d'Isabelle Delannoy).

Bien entendu ces techniques visent particulièrement le grand public. Cependant pour les professionnels, si le format change, les caractéristiques du message (simplicité, intelligibilité, etc.) doivent rester les mêmes. Certains acteurs professionnels peuvent de plus jouer le rôle de référent afin de transmettre et renforcer les messages. De fait, un bailleur social sensibilisé aux questions de sobriété et d'efficacité énergétique peut potentiellement répercuter un changement d'attitude sur des milliers de logements. De même, un syndic de copropriétés a une position privilégiée chez les copropriétaires et peut donc amorcer ou entretenir les germes d'un changement. Enfin, les Agences Locales de l'Energie (ALE) ou les EIE (Espace Info Energie) peuvent respectivement contribuer à dupliquer les messages. Ainsi en utilisant les techniques de marketing et des acteurs référents, les messages promulgués pourront être croisés, démultipliés et appliqués au cas par cas mais toujours au travers de moyens de diffusion permettant de toucher un grand nombre d'individus (Tableau 43).

Tableau 43 : Sensibiliser les acteurs : récapitulatif.

Leviers : Sensibilisation des acteurs du bâtiment	
Caractéristiques :	<ul style="list-style-type: none"> - Messages clairs, concis, pédagogiques, non infantilisants. - Action sur la durée. - Utilisation de différents canaux d'information afin de croiser les messages.
Objectifs :	<ul style="list-style-type: none"> - Accroître la connaissance des enjeux. - Faire partager et aider à l'appropriation des objectifs. - Développer le dialogue entre les acteurs. - Lever l'inertie du système.
Moyens et outils :	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation des techniques de marketing. - Transfert du message via des acteurs référents.
Acteurs à mobiliser :	- Politiques, institutions, collectivités, syndic de copropriétés, gestionnaire.

➤ Sobriété et efficacité, par qui et quoi commencer ?

La différenciation étant parfois délicate, il semble important en préambule de cette partie de réintroduire les notions portées par les concepts de sobriété et d'efficacité.

L'efficacité est une action visant à améliorer la performance d'un système, d'un bâti. Dans le cadre des questions énergétiques, ces actions doivent permettre à un bâtiment de réduire ses consommations pour une utilisation identique de ce dernier. Par conséquent l'efficacité n'interroge pas le besoin en lui-même mais la performance du service rendu. La sobriété, elle, découle d'une réflexion/action sur les besoins, sur l'utilité du service, sur les éventuels gaspillages. Si ces deux concepts sont importants, une question se pose : Doit-on être sobre avant d'être efficace ou viser l'efficacité avant la sobriété ?

Au premier abord, la majorité des acteurs, pour la plupart fortement influencés par le cadre conceptuel de la démarche négaWatt, dira qu'avant toute chose la sobriété s'impose. Il nous semble toutefois nécessaire de distinguer deux situations où la sobriété est respectivement placée avant et après une action d'efficacité. La première situation se déroule lors de la phase de conception et regroupe les acteurs de la maîtrise d'œuvre et d'ouvrage. La seconde situation s'applique aux habitants d'un logement et donc à la phase d'utilisation d'un projet. Dans ces deux cas, la sobriété vise une réduction des consommations d'énergie que nous limiterons à l'aspect chauffage.

Lors de la phase de programmation et de conception, la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre précisent les besoins du projet. C'est principalement à ces moments-là que les critères de superficie et de nombre de logements sont définis. Dans la dynamique actuelle du bâtiment où la superficie est un critère de « qualité », les maîtres d'ouvrage tendent à créer des logements de plus en plus grands et donc, pour une surface donnée, à réduire le nombre de ces logements par bâtiment.

« La surface par personne est bien ancrée, c'est un gage de qualité qui tend à se pérenniser » (E-ASSO-3).

« Lorsque l'on a deux logements de 50m², on peut en recréer un de 60m² l'autre de 40m², mais le plus souvent ce sera un de 100m². Au-delà de 100m², un logement devient difficilement louable. » (E-ESH-1).

De plus, comme l'exprime un intervenant du forum, la réglementation thermique actuelle, de par l'utilisation d'un indicateur par m², si elle limite une consommation relative ne contraint en rien la consommation globale du bâti. Un petit logement de 100 m² consommant 20 kWh/m² étant d'un point de vue réglementaire plus consommateur qu'un logement de 150 m² consommant 15 kWh/m².

« La réglementation actuelle pousse en effet à augmenter la taille des constructions, or une maison de 100 m² à 20 kWh/m² consomme moins qu'une de 150 à 15 kWh/m²... Si l'objectif est une baisse globale, il faut une réglementation qui incite à la petitesse ou au groupement. Je verrai bien une limite de consommation par bâtiment, en fonction du nombre de logements ou de bureaux, etc. Dans ce cas là si on veut faire gros il faut faire particulièrement performant » (F-FORM-Xavier Cholin-02/12/2009).

Si comme nous le verrons par la suite, et comme l'exprime cet acteur, un des leviers se trouve dans une refonte des indicateurs réglementaires, certains discours évoquent une redéfinition pure et simple de l'habitat. En effet, la sobriété, lors de la phase conception, fait appel à une autre façon de penser le logement ou l'immeuble, à un autre type d'ingénierie. Cette nouvelle ingénierie doit nécessairement prendre en compte et analyser les fonctions du logement vis-à-vis des besoins des habitants. En effet, une même surface d'un même logement peut être perçue différemment selon l'utilisateur, sa culture, et la période de sa vie. Pour connaître ses besoins, certains profils d'acteurs jusque là non cités peuvent être sollicités : l'ergonome. La fonction de l'ergonome, abordée dans le forum semble de fait pouvoir apporter une solution à l'accroissement constant des besoins. Véritable lien entre concepteur et utilisateur, la prise en compte des besoins invite à la concertation de ces deux acteurs voire à la coproduction du projet.

« Pour connaître les besoins de l'utilisateur, faites appel à un ergonome avec une culture technique. L'ergonome est un expert dans les facteurs humains (biomécanique, physiologie, anthropométrie) et leur intégration dans la conception. Définir les besoins des utilisateurs et mieux les comprendre c'est notre activité quotidienne et pour cela on a tout un arsenal d'outils très efficaces pour le faire. Mais cette compétence est encore peu connue en architecture à mon grand regret. Pourtant, dans d'autres domaines comme l'automobile, l'aéronautique ou la grande distribution, l'analyse des besoins de l'utilisateur est un incontournable. On entend alors souvent parler de termes comme : ergonomie, facteurs humains, analyse sensorielle, analyse fonctionnelle. Tous cela se rapporte à la même chose : la compréhension de l'utilisateur dans tous ces aspects ». (F-BET-Céline Puyaubreau-05/03/2010).

Certaines personnes rencontrées lors des entretiens soulignent que : réduire les surfaces habitables n'est aucunement synonyme d'une perte de fonctionnalité. Bien au contraire, un logement défini selon les contraintes de l'habitant peut s'avérer de par son utilisation bien plus adapté et bien plus économe qu'un logement aux dimensions standardisées. En effet, chaque m² construit augmente le prix de revient d'un logement. En réduisant la surface tout en garantissant le maintien des besoins de l'utilisateur, les sommes économisées peuvent être redistribuées et permettre une augmentation des épaisseurs d'isolants ou le choix d'un système de chauffage plus performant. Ainsi, pour un coût identique, le prix de revient du logement reste le même alors que le coût d'utilisation diminue.

En phase conception, une réflexion sur la sobriété d'usage du bâtiment doit être menée par les maîtres d'œuvre (architecte notamment) et maîtres d'ouvrage. La sobriété constitue donc une étape préalable à l'efficacité énergétique, les gains économiques de la sobriété pouvant être utilisés pour l'efficacité. En revanche, lors de l'utilisation du logement, et principalement sur la question du chauffage, la sobriété de l'occupant est nécessaire pour atteindre les performances escomptées, et ce quelle que soit l'efficacité du bâti.

Les usages des locataires sont un des volets les plus importants d'une démarche de maîtrise de l'énergie, l'habitant pouvant être à la fois un frein ou un levier vers la réduction des

consommations d'énergie. Pour aborder les aspects de sobriété chez l'occupant, nous nous focalisons sur une problématique fréquemment source de débat : la température de consigne des logements. Comme nous avons déjà pu l'évoquer, la température dans les logements ne cesse d'augmenter, s'éloignant alors des spécifications réglementaires à savoir les « fameux » 19°C de moyenne. De confortable à difficilement soutenable en passant par obligatoire, l'évocation de la température de 19°C renvoie à des perceptions diverses.

Perception de la consigne de 19°C (Figure 61).

- 69% des répondants au questionnaire internet (172 acteurs) estiment la température de 19°C comme confortable et acceptable.
- 17% la considèrent comme inconfortable.
- 14% pensent qu'elle doit être appliquée de part la réglementation qui y est associée.

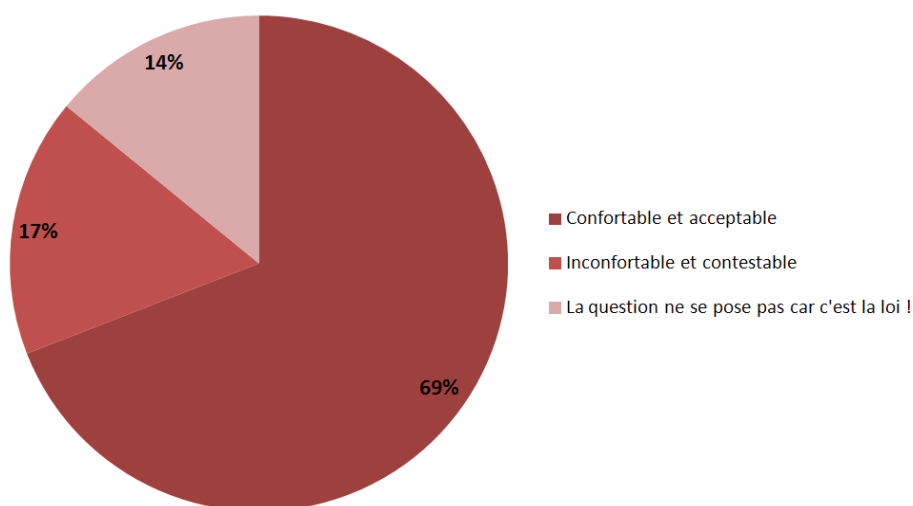


Figure 61 : Perception de la consigne de 19°C

Indiscutablement, les répondants au questionnaire internet estiment la température de consigne réglementaire de 19°C comme confortable et devant être appliquée par les occupants des logements. Cependant, il faut rappeler ici que le panel de personnes ayant répondu est plutôt considéré comme sensible et donnant une importance significatives aux problématiques énergétiques et environnementales. Par conséquent ils restent non représentatifs de la population française. En effet une étude du CREDOC réalisée en 2009 montre que : « *Non seulement les Français situent la température idéale souhaitée à 20 °C en moyenne, soit au-dessus des 19 °C prescrits par les pouvoirs publics, mais la sensibilité écologique n'a pas d'impact sur les arbitrages concernant la température idéale (...) S'ils sont prêts à opter pour des équipements plus économes en énergie, les Français ne sont pas disposés à réduire le niveau de confort que permettent d'atteindre les systèmes de chauffage et l'isolation des constructions récentes* » [DUJIN et al, 2010].

Si l'acceptation des professionnels du bâti sensibles aux économies d'énergie est avérée, celle des locataires, de part les données réelles de chauffage, l'est beaucoup moins. Quelles sont alors les raisons d'un tel décalage dans les perceptions entre concepteur et utilisateur ? Les divergences

d'opinion nous semblent en priorité imputable à la définition même de la température. Pour les utilisateurs, 19°C réfèrent à la température de l'air mesurée par un thermostat. A contrario pour les professionnels, 19°C représente la température opérative, c'est-à-dire la moyenne de la température de l'air et des surfaces (murs, fenêtres, sol, plafond au prorata des surfaces). La température opérative influencée par les surfaces correspond à la température réelle ressentie par l'utilisateur. Ainsi même si l'air est chauffé à 21°C, des parois froides à 15°C entraîneront une sensation d'inconfort pour l'utilisateur $((21+15)/2 = 18^{\circ}\text{C})$.

« La température de 19°C dans une habitation dépend du type constructif de l'habitation en question, induisant notamment un effet de paroi froide et donc une température ressentie bien plus basse et inconfortable » (EBET-1).

A partir de ce constat, nous pouvons alors émettre une hypothèse : si la température ressentie dépend des caractéristiques des parois, une meilleure isolation de ces dernières permet de réduire la sensation de paroi froide. Si les parois sont mieux isolées, la température de l'air peut être abaissée et donc les économies d'énergie réalisées. De par cet exemple trivial, on remarque que les actions d'efficacité visant à réduire les consommations d'énergie via une isolation des parois permettent d'envisager une action de sobriété de la part des locataires (réduction de la température de l'air mesurée par le thermostat). L'ajout de système efficace n'est cependant pas restreint aux seules parois. Des appareils de mesure et de gestion efficace de la température couplés à un suivi des consommations peuvent eux aussi contribuer à amorcer des comportements sobres. Les Techniques de l'Information et de la Communication (TIC) représentent de fait une voie vers la prise de conscience de l'impact des habitudes et de chaque geste au quotidien invitant à une plus grande efficacité de la consommation.

Malgré tout, même si l'efficacité d'un bâtiment est un élément incontournable d'une évolution des comportements vers plus de sobriété, il n'en est cependant pas garant. En effet comme le relève plusieurs discours issu du forum étudié, les nouveaux logements pourtant construits selon des exigences réglementaires de plus en plus élevées et disposant de systèmes des plus efficaces ne sont que très rarement chauffés à la température réglementaire.

Pour nombre de professionnels rencontrés, notamment issus de bureaux d'études, cette discordance peut être imputable à 3 aspects :

- Le premier aspect concerne la sélection des matériaux. Le choix des matériaux actuels et notamment lorsqu'il s'agit d'isolants se fait encore majoritairement sur un seul et unique critère : la résistance thermique. Or, malgré l'importance de ce critère pour la limitation des déperditions, le fonctionnement et le ressenti thermique dans un bâti ne peuvent être ramenés à la seule isolation. En effet, la capacité inertielle d'une paroi doit être prise en compte tout autant que sa

fonction isolante. Cela suggère de s'intéresser à l'ensemble des propriétés thermiques des matériaux telles la capacité thermique volumique et surfacique ou encore à l'effusivité thermique⁴⁷.

« Tous les matériaux n'apportent pas le même confort. Alors, pour faire accepter des températures de l'ordre des 19°C, il faut travailler sur toutes les propriétés et pas uniquement la conductivité. » (E-BET-1)

Si l'on prend l'exemple de l'effusivité thermique, cette grandeur exprime la vitesse avec laquelle un matériau absorbe des calories mais surtout permet d'évaluer le ressenti subjectif du « confort » apporté par une paroi. En effet, deux parois dont la température de surface est identique peuvent être considérées comme subjectivement froides ou chaudes selon leur valeur d'effusivité. Par exemple, un parement en bois sera subjectivement chaud alors qu'un autre parement en matière minérale sera subjectivement froid (Figure 62).

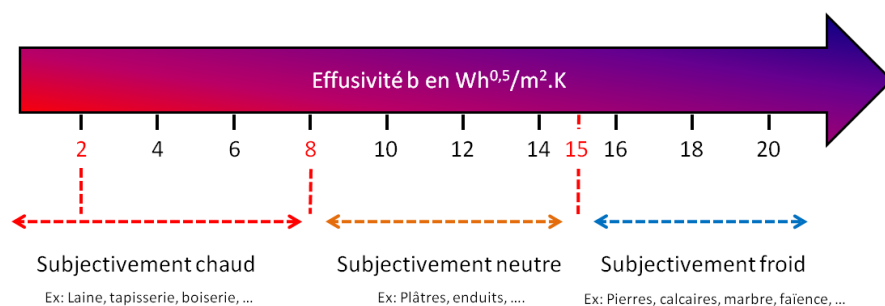


Figure 62 : Subjectivité des matériaux selon leur effusivité thermique.

- Le second aspect pouvant expliquer l'absence de sobriété dans des logements isolés est la conception actuelle des systèmes de chauffage qui tendent à maintenir des conditions thermiques standardisés. Cette standardisation entraîne une homogénéisation dans tout l'appartement, et des états immuables que ce soit dans l'espace ou le temps. « Une telle uniformité est résolument anti-naturelle et exige de surcroît, de nombreux efforts et des consommations excessives d'énergie » [HESCHONG, 1981]. Or un contraste de température dans l'espace et dans le temps fait ressortir et apprécier les qualités d'un lieu. Par exemple, la température des zones de nuit doit pouvoir s'abaisser pendant les périodes de repos et d'inoccupations ; une salle de bain doit pouvoir être chauffée plus que le reste de la maison et pendant le temps de la toilette. Appréhender lors de la conception d'un bâti, la configuration des lieux, leur fonction thermique, et les besoins des habitants s'avèrent donc des éléments essentiels vers plus de sobriété.

- Enfin, inviter à la sobriété au travers des bâtiments et systèmes efficaces, supposent que le

⁴⁷ L'effusivité thermique symbolisée par la lettre b s'exprime en racine carrée de wattheure par mètre carré kelvin (Wh^{0,5}/m².K). $b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c}$ où λ représente la conductivité thermique et ρc la capacité thermique volumique.

fonctionnement de ces derniers soit abordé auprès des utilisateurs et surtout approprié. De fait, les complexités technologiques actuelles rendent difficiles une gestion simple et efficace du bâti, les habitants étant alors (et notamment lorsqu'ils sont âgés) incapables de gérer leur logement pourtant si « performant et intelligent ». Prôner des systèmes simples, utilisables par un utilisateur lambda apparaît donc comme nécessaire.

« Il faut des systèmes simples, utilisables par un employé ou un habitant moyen » (E-INST-4).

Au travers de ces propos, l'étape de sobriété pouvant amener à réduire les consommations et à limiter un possible effet rebond est selon la phase d'un projet successivement placée avant et après l'efficacité (Tableau 44).

Tableau 44 : Les étapes de la sobriété : récapitulatif.

Leviers :	Développer la sobriété en phase conception	Développer la sobriété en phase utilisation
Caractéristiques :	- Préalable aux actions d'efficacité	- Nécessite des actions d'efficacité.
Objectifs :	<ul style="list-style-type: none"> - Repenser l'habitat. - Développer la concertation et le dialogue entre acteurs. - Interroger les besoins. - Solliciter de nouveaux acteurs. - Réduire le coût d'investissement 	<ul style="list-style-type: none"> - Réduire les besoins (chauffage, surface, ...). - Limiter l'effet rebond.
Moyens et outils :	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation de matériaux subjectivement chauds. - Création de zones thermiques hétérogènes. - Systèmes de régulation et de suivi des consommations adaptés et appréhendables par l'utilisateur. 	
Acteurs à mobiliser :	- MO, Moe (Architectes, BET)	MO, Moe, utilisateurs

Les architectes, bureaux d'études et maîtres d'ouvrage doivent viser des logements sobres dans leur conception que ce soit au travers de la configuration des lieux, des espaces thermiques, de la gestion de la température dans le temps ou encore de la surface. Dans un second temps, la sobriété dans la conception doit être suivie d'une efficacité tournée non plus uniquement sur la seule propriété isolante d'un matériau, mais sur l'ensemble de leurs caractéristiques. Ce n'est qu'à ces deux conditions qu'une sobriété d'utilisation par les habitants pourra être amorcée et que conformément à la démarche négawatt, l'utilisation d'énergies renouvelables pourra par la suite être intégrée (Figure 63).

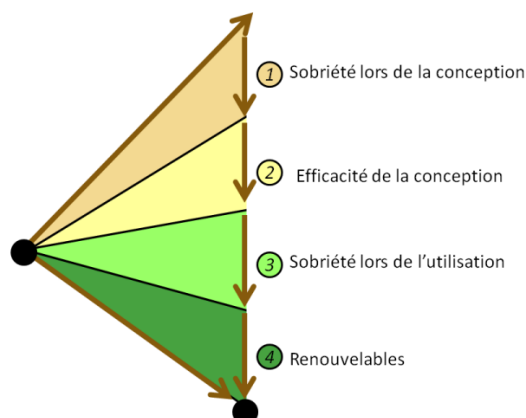


Figure 63 : Ordonnancement de l'efficacité et de la sobriété dans le bâtiment.

➤ **Former et mutualiser les compétences et connaissances.**

Modifier ou tout du moins faire évoluer le savoir-faire des intervenants d'un projet que ce soit en phase de conception ou lors de la réalisation, passe à priori par une formation de ces derniers. La formation apparaît pour beaucoup comme un véritable levier pour atteindre les objectifs du facteur 4. Touchant les différents acteurs d'un projet, la formation semble toutefois devoir cibler en priorité deux types d'acteurs : la maîtrise d'œuvre et les entreprises du bâtiment intervenant sur le chantier. Les formations orientées concepteur (maîtrise d'œuvre) ont pour objectif d'amorcer un changement dans les modes de concevoir l'habitat. Axée sur les points abordés précédemment, une réévaluation des besoins, fonctionnalité, configuration et usages des logements doit être amorcée afin de créer de nouvelles façons d'habiter. En parallèle d'une formation tournée majoritairement vers les architectes, l'évolution et l'accentuation des connaissances des bureaux d'études apparaissent tout autant nécessaires. Une comparaison faite par un acteur sur le rôle du thermicien et de « l'énergéticien », montre par certains aspects l'évolution souhaitée que pourrait apporter une formation :

« Le thermicien intervient sur un projet dont toutes les caractéristiques ont déjà été figées : son rôle, c'est de chauffer en hiver, de rafraîchir en été, de ventiler et de maintenir l'hygrométrie, pas de discuter sur la pertinence des plans et des besoins induits par la construction (...) L'énergéticien apporte bien sûr à l'architecte les compétences du thermicien, mais surtout il va (essayer de) lui expliquer que son intervention commence avant le premier trait d'esquisse du futur projet, avec la volonté d'avoir une vision globale. L'énergéticien prétend maîtriser la technique de l'énergie, mais aussi les matériaux et les formes, sous leur aspect énergétique. Il veut intervenir avant et pas après le dessin architectural. Son objectif n'est pas de produire de l'énergie, mais de trouver les moyens de ne pas avoir à en produire. Donc tout le contraire d'un thermicien » (F-BET-Armand Dutreix-12/03/2009).

Au travers de ce discours, c'est un véritable bouleversement des modes de faire et d'interagir qui est illustré. En utilisant une analogie au domaine informatique, la formation ne doit pas être considérée comme un simple logiciel venant se rajouter au système d'exploitation mais surtout

comme un élément permettant une refonte totale de ce système.

En ce qui concerne les entreprises du bâtiment, la formation si elle conduit vers un accroissement des compétences, semble selon les personnes interrogées viser deux objectifs distincts. Le premier objectif doit permettre l'apprentissage des savoir-faire pour la mise en œuvre de matériaux ou systèmes innovants. De fait, la réapparition de produits « naturels » ou « biosourcés » selon les appellations nécessite de nouveaux savoir-faire indispensables au développement de solutions efficaces d'un point de vue énergétique et environnemental. Les caractéristiques de ces matériaux, leurs particularités et leur pose en font de fait des variantes aux systèmes utilisés traditionnellement dans le bâtiment. Former les acteurs d'un chantier à ces nouvelles techniques ne représente cependant qu'une partie des objectifs que pourrait porter une formation. De fait, rénover ou construire un logement excepté lors de l'utilisation de systèmes innovants ne fait pas fondamentalement appel à de nouvelles connaissances (l'amélioration thermique à grande échelle des bâtiments ayant tout de même commencé en 1975). Au travers des discours, la formation vise à améliorer la mise en œuvre, à inculquer le goût de la précision. En effet, l'apparition des critères d'étanchéité à l'air et de déperdition montre que la qualité de mise en œuvre ne permet plus de répondre aux exigences d'un bâtiment économe. Les acteurs, s'ils sont invités à faire autrement, sont donc surtout encouragés à améliorer le niveau de leur prestation. Par conséquent si une formation théorique est souhaitable, la précision ne peut être envisagée qu'au travers d'un apprentissage pratique sur chantier. Le problème doit de fait être posé au niveau opérationnel et les solutions pour y répondre partagées au travers de retour d'expérience exemplaire au niveau national comme international. Ces échanges encouragent les dialogues entre acteurs et permettent de dissiper les discordances. L'exemplarité doit cependant être axée sur les aspects techniques comme économiques. Un projet très performant ne pouvant être répliqué du fait d'un coût « prohibitif » contribue à alimenter un marché de niches très peu représentatif de ce que le budget des MO permet.

« L'un des obstacles, est l'absence d'approche économique. On est dans une approche de niche, avec des projets exemplaires mais non représentatifs » (E-ASSO-1).

« Les opérations phares ou tests sont souvent très poussées dans la Loire mais limitées en volume d'habitat. Par exemple un bailleur social dans la Loire a lancé un gros projet de rénovation. 80.000 euros par logement pour l'isolation extérieure, l'isolation des combles, la double flux, le double vitrage, la chaudière bois, les ENR. Le problème c'est que ça ne touche que 34 logements de leur parc qui en compte plus de 12000 » (E-INST4).

Pour pousser à se former, le marché doit cependant montrer des signes révélateurs d'une modification profonde des choix lors de la sélection des concepteurs et réalisateurs d'un projet. Il est en effet important pour un acteur dépensant du temps et de l'argent pour se former de pouvoir se valoriser et se démarquer de la masse, et ce d'autant plus si les coûts de ses prestations sont revus à la hausse.

« La FFB a créé un nouveau label intitulé 'Les pros de la performance énergétique' qui permet à nos entreprises qui rentrent dans ce dispositif de se démarquer comme ayant une compétence certaine pour accompagner le client dans une opération de performance énergétique des logements » (E-SYND-1).

La valorisation d'un acteur peut être portée lors du choix des intervenants d'un projet que ce soit pour la conception ou la réalisation. Lors de l'appel d'offre et du retour des réponses, le poids accordé au critère de compétences peut alors intervenir de façon significative dans la décision ce qui sous-entend de réduire le poids accordé aux aspects financiers.

Tableau 45 : la formation des acteurs : récapitulatif.

Leviers :	La formation des acteurs du bâtiment
Caractéristiques :	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessite une valorisation des compétences et une reconnaissance lors des appels d'offres. - Formation au travers d'une approche théorique <u>et</u> pratique.
Objectifs :	<ul style="list-style-type: none"> - Augmenter les compétences d'acteurs. - Prôner la précision lors de la mise en œuvre. - Créer du lien entre objectif théorique et pratique
Moyens et outils :	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation des retours d'expériences nationaux et internationaux de projets exemplaires et répliquables.
Acteurs à mobiliser :	<ul style="list-style-type: none"> - Moe et entreprises du bâtiment.

➤ **Lever les réticences imposées par la barrière financière.**

Réfléchir à la rentabilité financière d'un projet afin de lever les difficultés engendrées par les questions de coût nécessite de sortir d'un schéma préconstruit, d'être pragmatique, d'innover et de créer de nouvelles approches économiques :

« Quand on n'a pas d'argent, il faut être innovant, il faut penser autrement » (E-INST-3).

L'une de ces approches très largement évoquée au travers des discours est la notion de coût global. Les détails et les précisions restent cependant parcellaires et si les avantages globaux du coût global sont évoqués lors des entretiens, une plus grande précision est obtenue au travers du forum. Le coût global est une approche économique liant le coût d'investissement d'un projet de construction ou de rénovation au coût futur d'exploitation du bâtiment. Le coût d'investissement représente pour les acteurs l'ensemble des dépenses (coût des études, des intervenants de la maîtrise d'œuvre, le coût du foncier lors d'une construction neuve, et les coûts des travaux) nécessaires à la réalisation du projet. Dans la plupart des cas, l'approche économique et la viabilité

d'un projet sont limitées à l'estimation de ce dernier :

« Le coût global ne fait pas partie des préoccupations d'un bailleur social. Les attentions sont portées sur le financement des coûts de construction en augmentation » (E-INST-3).

Cependant, les problématiques actuelles, quant au prix de l'énergie, tendent aujourd'hui à inclure les coûts de fonctionnement. Le fonctionnement sous-entend dans la majorité des cas l'exploitation d'un bâti au travers des différents fluides utilisés mais aussi la maintenance nécessaire au maintien des caractéristiques et des fonctions du système et du bâti. Intégrer le fonctionnement apparaît comme un pas fondamental par rapport aux approches économiques standards du fait des préoccupations de long terme qu'elles engendrent et des réflexions lors de la conception qu'elles supposent. En effet, le fonctionnement d'un bâtiment, ses caractéristiques et sa performance d'usage, si elles sont influencées par la qualité de mise en œuvre, dépendent très largement des choix de la maîtrise d'œuvre et de la vision du MO et ce depuis la programmation. Un maître d'ouvrage soucieux d'intégrer un coût global doit, pour réduire ses coûts, s'entourer d'une équipe dont les compétences seront suffisantes pour proposer des solutions avantageuses financièrement quelle que soit la phase du projet. Quant à la maîtrise d'œuvre, penser coût global implique d'appréhender le bâtiment sur l'ensemble de son cycle de vie et donc d'intégrer les besoins de l'utilisateur des lieux, la fonctionnalité de l'espace, ou encore un accès aisé au système pour une maintenance efficace, etc. Le coût global est donc avant toute chose une démarche devant être engagée par la maîtrise d'ouvrage et ce le plus précocement possible lors d'un projet. La sensibilité de cet acteur, ses connaissances des avantages financiers, mais aussi sociaux et environnementaux inhérents à une telle démarche doivent donc lui être inculquées. En effet, si la définition basique du coût global fait référence dans la majorité des discours à un simple retour sur investissement, une minorité semble cependant accorder à cette démarche des valeurs ajoutées bien plus larges parmi lesquels :

- Une augmentation de la valeur patrimoniale du bien
- Un accroissement de la qualité et du confort de vie des occupants (souvent difficile à monétariser)
- Une réduction du syndrome du bâtiment malsain
- Une augmentation de la productivité dans les bâtiments tertiaires
- Une diminution de l'impact environnemental du bâti (émissions de GES et production de déchets)
- Une limitation des loyers impayés de par une réduction des charges (notamment chez les propriétaires bailleurs).
- Un accroissement du taux d'occupation du bâtiment et donc des revenus locatifs.
- Etc...

« Le retour sur investissement est souvent très long. Intégrer la plus value due à l'embellissement, à l'entretien du bâtiment est primordial » (E-INST-4).

« Les bailleurs sociaux ont la charge de loger des familles modestes. Cependant ce sont des sociétés et pas des philanthropes et quand les charges ne rentrent pas ce sont des impayés pour eux ». (E-INST-3).

« Les propriétaires bien que n'y pensant pas tout le temps font attention à la valeur de leur patrimoine ce qui constitue un bon levier pour une action » (E-ASSO-3).

L'accroissement du confort des occupants intégré par la notion de coût global permet ici de valoriser des travaux, dont les objectifs de performance ne sont pas prioritaires. Améliorer la qualité de vie peut alors constituer un leitmotiv supplémentaire, et devenant dans la majorité des cas bien plus fédérateur qu'une simple réduction des coûts de fonctionnement.

Enfin, l'avantage du coût global est la gestion de bon père de famille qu'elle sous-entend. Un maître d'ouvrage, et notamment les propriétaires privés lors d'une demande de financement, pourront faire valoir cette approche auprès de leur banquier. Ce dernier pouvant alors proposer un emprunt limité par le reste à vivre et non sur l'unique taux d'endettement du client (33% dans la majorité des cas). Malgré tout, si le coût global peut être considéré pour valoriser l'équilibre financier à long terme d'un projet, il ne résout pas le difficile problème de l'investissement initial. Pour lever cette difficulté, les regards se tournent vers les modes de financement et la réduction des coûts d'un projet.

Tableau 46 : L'approche en coût global : récapitulatif

Leviers :	L'approche en coût global
Caractéristiques :	- Prise en compte (du coût global) dès la programmation du projet.
Objectifs :	- Développer le dialogue entre acteurs du projet. - Augmenter l'intérêt économique d'un projet par la prise en compte de la phase d'utilisation. - Valoriser le critère de performance énergétique et son impact sur les aspects économiques, sociaux et environnementaux.
Moyens et outils :	/
Acteurs à mobiliser :	MO, économistes, institutions financières.

➤ **Financer et contractualiser la performance.**

Atténuer le coût ou « surcoût » d'un projet et aider à l'investissement initial semble de fait être perçu comme un des leviers permettant d'évoluer vers des niveaux de performance élevés. L'un

des moyens les plus cités concerne les aides financières octroyées par l'Etat, les collectivités ou encore les banques. Actuellement majoritairement perçue comme insuffisante, bloquante et mal distribuée, la réévaluation des aides et de leur montant apparaît indispensable. Les financements doivent cependant répondre à plusieurs caractéristiques pour être efficaces. Premièrement, un financement doit être simple dans ses formalités et être proposé sur la durée. En effet, comme nous l'explique un chargé de mission, l'évolution rapide où le retrait de certaines aides ne concourt pas à une visibilité sur le long terme ; certains dossiers n'étant plus valables lors de la demande de financement :

« Les dispositifs financiers sont plutôt incitatifs. Cependant pour les copros et les bailleurs, il n'y a aucune visibilité à long terme. Certains bailleurs montent un dossier qui n'est plus valable lors de la demande de financement » (E-INST4).

Deuxièmement, et en accord avec ce que nous avons souligné dans le chapitre 2, les aides financières devraient selon les acteurs être majoritairement axées sur le bâtiment ancien (gisement le plus important) et plus particulièrement sur l'efficacité énergétique de l'enveloppe. Or, la disparité actuelle entre les aides accordées aux énergies renouvelables tend à promouvoir ces dernières au désavantage d'actions d'isolation.

« Les moyens financiers aujourd'hui sont encore trop ciblés ENR » (E-ASSO-2).

« Le photovoltaïque se rapproche d'une gestion entrepreneuriale alors que la performance énergétique serait plus une gestion à la bon père de famille » (E-SYND-1).

Perception des aides financières (Figure 64).

- 2/3 des répondants aux questionnaires internet (63%) estiment que les aides financières sont actuellement insuffisantes.
- 23 % les perçoivent comme adéquates (suffisantes) mais encore trop peu restrictives quant au niveau de performance.
- Seuls 12% pensent que les aides sont suffisantes.

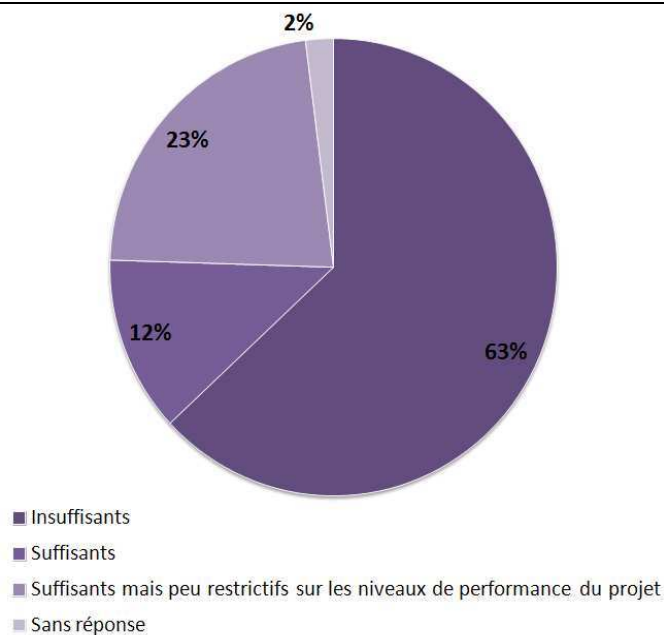


Figure 64 : Perception des aides financières

Répartition souhaitée des aides (Figure 65).

- 82 % des acteurs souhaiteraient que les aides soient axées en priorité sur l'isolation du bâti.
- Respectivement 2 et 10 % axeraient les aides sur la promotion des systèmes de production d'énergie et de chaleur (non renouvelables et renouvelables)
- Seuls 4% perçoivent les campagnes de sensibilisation comme prioritaires pour les financements

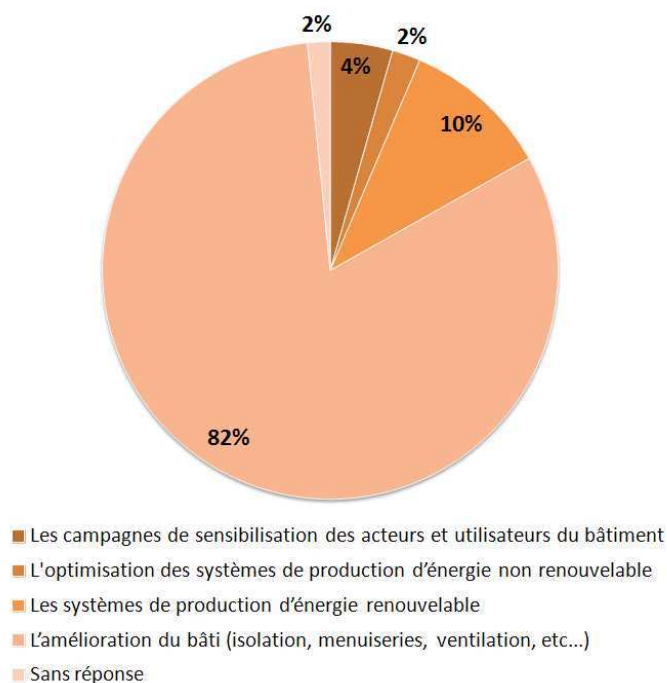


Figure 65 : Répartition souhaitée des aides

Au travers des données présentées, les financements largement perçus comme insuffisants doivent être accrus et axés en priorité sur l'amélioration des caractéristiques du bâti. L'efficacité de l'enveloppe avant celle des systèmes est de fait largement prononcée et plébiscitée par les acteurs.

Enfin, il apparaît nécessaire d'augmenter l'écoconditionnalité des aides proposées. Encore trop souvent les aides ne servent qu'à atteindre les niveaux réglementaires et restent encore trop loin des exigences d'un bâtiment pouvant répondre aux objectifs du facteur 4. Si l'on prend l'exemple de l'écoprêt à taux zéro (EPTZ) pour la rénovation comparée aux exigences de la solution technique de référence développée par le cabinet Enertech, les écarts restent conséquents (Tableau 47). Tableau 47 : Comparaison des exigences techniques entre l'EPTZ et la STR

	Eco-conditionnalité de l'EPTZ ⁴⁸	Niveau de la STR
Plancher haut	R variant de 3 à 5 m ² K/W selon les configurations	R ≥ 7,5 m ² K/W
Plancher bas	/	R ≥ 4,3 m ² K/W
Murs	R ≥ 2,8 m ² K/W	R ≥ 4,3 m ² K/W
Menuiseries et fenêtres	Uw ≤ 1,8 W/m ² °C	Uw ≤ 1,1 W/m ² °C
R : Résistance thermique en m ² K/W, Uw : Conductance de la fenêtre en W/m ² °C		

Certaines voix s'élèvent cependant contre le réel levier que représentent les aides financières accordées aux projets. Selon plusieurs acteurs interrogés, les financements tendent à mettre « sous perfusion » le secteur du bâtiment et ne pousse pas à la réduction des coûts des travaux (le surcoût étant compensé par les aides). Ainsi, si une aide doit être accordée, elle ne peut être que ponctuelle et limitée aux seuls projets répondants aux objectifs du facteur 4 mais surtout doit être couplée à une réflexion sur la réduction du coût de l'investissement.

« Actuellement, tout le système politique actuel vise à dire : c'est coûteux, il faut donc mettre en place des incitations économiques pour pouvoir payer et que cela devienne rentable et il n'y a aucun raisonnement sur comment faire baisser le prix. » (E-ASSO-1).

Si une réflexion sur le coût d'investissement passe par une « industrialisation » des rénovations permettant de réduire le coût de production des matériaux de construction, les discours recensés semblent plus enclins à évoquer deux autres solutions : la contractualisation et le phasage des travaux. Contractualiser la performance d'un bâtiment lors d'un projet est perçu comme un levier

⁴⁸ Arrêté du 30 mars 2009 relatif aux conditions d'application de dispositions concernant les avances remboursables sans intérêt destinées au financement de travaux de rénovation afin d'améliorer la performance énergétique des logements anciens

fort. Parmi ces contrats, les PPP (Partenariat Public Privé), et plus précisément le CPE (Contrat de Performance Énergétique) sont parfois mentionnés.

« Utiliser les PPP ou les crédits bail doivent permettre le financement des programmes de performance énergétique » (E-INST-1).

« Contractualiser la performance énergétique s'inscrit comme un levier fort » (E-ASSO-1).

Le CPE est un « accord contractuel entre le bénéficiaire et le fournisseur d'une mesure visant à améliorer l'efficacité énergétique, selon lequel des investissements dans cette mesure sont consentis afin de parvenir à un niveau d'amélioration de l'efficacité énergétique, qui est contractuellement défini⁴⁹ ». Le principal intérêt de ces partenariats est la possibilité de voir l'investissement initial engagé non pas par la maîtrise d'ouvrage mais par le prestataire. Le prestataire se paie alors sur une partie ou la totalité des économies d'énergie pendant une durée définie par contrat. Le second intérêt est l'utilisation d'une approche économique axée sur la notion de coût global. Enfin, le gain du prestataire dépendant de la réalité des consommations constatées, le partenariat invite alors à la vérification de la performance réelle du bâti. Il faut cependant souligner que ces modes de financement restent réservés à une partie de la maîtrise d'ouvrage (principalement les collectivités locales et établissements publics qui ont un parc immobilier) et compliquent selon de nombreux acteurs, le montage d'un projet. De plus les contrats prévus sont engagés sur plusieurs années et constituent donc un engagement lourd pour les MO.

Le deuxième levier évoqué afin de limiter les dépenses d'investissement serait d'organiser une progressivité des travaux, permettant d'intégrer les actions actuelles et futures. Le phasage d'une réhabilitation semble de fait pouvoir étaler le coût, laissant alors au maître d'ouvrage la possibilité d'amortir le premier investissement avant d'entamer le second.

« Dans les copro pour faire une réhabilitation digne de ce nom c'est tout de suite 20, 30, 40, 50000 euros par logement. Il faut donc phaser les préconisations. L'idéal serait de pouvoir faire la façade, les vitrages et la ventilation en même temps. Puis 5 ou 10 ans après avoir absorbé le coût de la première phase on isole, les combles et en dernier lieu on touche au chauffage. » (E-INST-4).

« Il faut avoir une démarche plus globale qui permet d'intégrer les travaux actuels et futurs sans avoir à y revenir » (E-SYND-1).

Le phasage des travaux doit cependant, aux yeux des acteurs rencontrés, respecter plusieurs règles. Tout d'abord, chaque action, si elle est réalisée indépendamment des autres doit être compatible avec les suivantes. En exprimant cette idée, certains acteurs se réfèrent au terme de « BBC compatible ». Le BBC compatible est souvent utilisé pour présenter une rénovation et se

⁴⁹ Directive 2006/32/CE du parlement européen et du conseil du 5 avril 2006 relative à l'efficacité énergétique dans les utilisations finales et aux services énergétiques et abrogeant la directive 93/76/CEE du Conseil

base sur l'idée qu'en absence d'une d'action sur l'ensemble du bâtiment, l'atteinte de niveaux minimums pour chaque partie permettra d'atteindre in fine les exigences requises. Les actions entreprises doivent de plus être effectuées dans l'ordre. Ainsi, et dans un premier temps, l'isolation semble préférable au changement d'un système de chauffage afin de réduire la puissance installée et ne pas surdimensionner le système.

Nous pouvons enfin terminer cette partie sur les leviers financiers au facteur 4 (Tableau 48) par l'évocation d'une dernière disposition : l'augmentation du prix de l'énergie. En effet, le retour sur investissement se basant sur les prix de l'énergie, une élévation des coûts de celle-ci réduit de façon proportionnelle la durée d'amortissement de l'investissement. Si l'on peut voir en cet accroissement du prix un levier pouvant potentiellement encourager l'ensemble des maîtres d'ouvrage (public comme privé), les contraintes associées restent malgré tout lourdes de conséquences pour les ménages les plus démunis (problématique de précarité énergétique).

Tableau 48 : Leviers financiers : récapitulatif.

Leviers :	Financer et contractualiser la performance	Phaser les travaux
Caractéristiques :	<ul style="list-style-type: none"> -Simple, pérenne. -Axé sur le bâti ancien et l'isolation. -Conditionner à l'atteinte du facteur 4. 	<ul style="list-style-type: none"> -Ordonné (structure puis système). -Compatibilité des interventions.
Objectifs :	<ul style="list-style-type: none"> -Permettre l'investissement initial. - Préserver le gisement d'économie d'énergie. -Augmentation des exigences de performance. 	
Moyens et outils :	-CPE, PPP	-Labels
Acteurs à mobiliser :	- MO, Institutions financières, Entreprises	-MO, Moe

Si l'ensemble des leviers évoqués précédemment, que ce soit au travers de la sensibilisation, de la formation, des outils de financements restent indispensables, ils ne contraignent en rien les acteurs du bâtiment et ne restent qu'incitatifs. De fait, changer ses façons de concevoir un bâtiment de la part d'un architecte, ou viser une performance élevée pour un maître d'ouvrage sont des actions volontaires. Or, si le volontariat est important, contraindre l'atteinte du facteur 4 via la réglementation constitue une option obligatoire :

« Tant qu'il n'y aura pas d'obligation, le volontariat ne permettra rien » E-INST4.

➤ Réglementer, un passage obligé vers le facteur 4

A la vue de la situation actuelle et de l'inertie du système bâtiment à amorcer une évolution pérenne, suffisante et rapide vers les objectifs du facteur 4, de nombreux acteurs estiment qu'une évolution réglementaire est nécessaire. Au travers des discours d'acteurs, 3 points touchant à la réglementation peuvent être abordés : l'obligation de rénovation, l'élévation des niveaux d'exigence lors de rénovation et la vérification en condition réelle des objectifs ciblés.

L'obligation de travaux dans les bâtiments anciens est une solution souvent citée par les acteurs du bâtiment afin de répondre à l'inertie du système et d'atteindre un quota annuel supérieur à 400.000 rénovations. Actuellement, les maîtres d'ouvrages et exception faite des bailleurs sociaux n'ont aucune obligation de rénovations de leurs patrimoines. De fait, si les RT dans le bâti existant obligent à un niveau de performance minimum, elles ne s'appliquent qu'aux seuls travaux amorcés de façon volontaire par le MO. Imposer l'obligation de rénovation au moment de la vente d'un bien immobilier, contraint l'acheteur ou le vendeur du patrimoine à effectuer des travaux. Chacune des transactions améliorerait alors la performance moyenne du parc de logements et l'orienterait vers l'atteinte du facteur 4. Si ce levier apparaît comme indispensable, de nombreux acteurs s'interrogent cependant sur les contraintes liées à une telle obligation. En effet, et dans un premiers temps, le prix du bâti actuel n'étant que très peu corrélé à la performance énergétique, l'obligation de rénovation nécessite d'être associée à une revalorisation ou une dévalorisation du bâti selon ses performances. Deuxièmement, pour pouvoir envisager de tels travaux, les avantages apportés en phase d'utilisation doivent être intégrés au travers d'une démarche comme le coût global, démarche restant encore à promouvoir. Enfin, l'obligation pour une efficacité optimum nécessite d'être associée à une augmentation des exigences de performance afin de garantir l'intégrité du gisement d'économie à réaliser.

Les performances exigées au travers de la réglementation thermique des bâtiments existants sont considérées par les acteurs rencontrés comme insuffisantes et contribuant à tuer le gisement d'économies d'énergie. Par conséquent, certains discours convergent pour une refonte des objectifs des RT. Tout comme pour le bâtiment neuf, un abaissement des seuils de consommation au niveau de certains labels tel le BBC rénovation ($\approx 80 \text{ kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2/\text{an}$) est cité. L'évolution des réglementations, si elle est perçue comme une contrainte supplémentaire pour les acteurs du bâtiment, peut cependant contribuer à un meilleur dialogue entre professionnels. L'augmentation des exigences oblige chaque acteur à se coordonner et à communiquer afin que chacune des actions entreprises par chaque intervenant s'insère dans un processus de rénovation efficace.

Améliorer les exigences doit cependant être couplé à une vérification de ces dernières. En effet, les calculs théoriques nécessitent d'être corrélés à la réalité du terrain. Or une question se pose :

Comment vérifier le respect des niveaux de performance alors même que la méthode réglementaire utilisée « n'a pas pour vocation de faire un calcul de la consommation réelle du bâtiment »⁵⁰ ? En phase réalisation, et sur chantier, la généralisation des tests d'étanchéité à l'air apportent quelques éléments de réponse. Les tests d'étanchéité à l'air permettent par une mesure in situ de déterminer si la mise en œuvre des travaux respecte une valeur cible donnée. En cas de non respect, les sources de déperditions (fenêtres, gaines électriques, murs, ...) peuvent être repérées ce qui permet de désigner les corps de métier fautif et donc dans certains cas d'appliquer des sanctions ou de faire refaire les travaux.

« Lorsque qu'il faudra respecter des tests tel celui de l'étanchéité à l'air, il faudra que chacun connaisse son rôle et celui des autres pour ne pas défaire ce qui aura été fait. De toute les façons, les tests d'étanchéité à l'air quand ils auront lieu mettront tout le monde d'équerre » (E-SYND-1).

Malgré tout, les tests d'étanchéité ne se focalisent que sur la phase de réalisation d'un projet. Or, la responsabilité d'un non respect des objectifs ne peut être imputable aux seules entreprises du chantier. En effet, la conception du bâti et des systèmes par les architectes et ingénieurs, tout comme l'exploitation ultérieure par l'habitant constituent elles aussi des sources de divergence. Pour ces deux phases, l'emploi de logiciel de calcul non normalisé et exempt de coefficient de pondération (taille des logements, type d'énergie, etc...) corrélé à un suivi des consommations réelles pendant l'occupation sont des solutions proposées. Parmi les logiciels, la simulation thermique dynamique semble faire l'unanimité. Ne proposant aucune forme de pondération par convention, elle permet d'obtenir des données non modifiées et répondant à des contraintes physiques et non plus politiques. Ces méthodes nécessitent cependant pour une approximation des futures consommations, des hypothèses proches de celles observées dans la réalité. En effet, comme l'attestent les discussions du forum, les hypothèses et conventions retenues sont une des causes des divergences entre réalités et calculs. Par conséquent, l'attention donnée aux hypothèses doit être accrue et nécessite de se rapprocher des valeurs constatées sur le terrain, afin de coller au plus proche des modes de vie actuels des habitants. Au-delà de la précision dans les résultats, l'utilisation des hypothèses calquées sur des observations de terrain permet de prendre en compte les besoins réels des habitants et de ne pas imposer des normes difficilement applicables. Le concepteur des bâtiments est alors invité à repositionner sa démarche en s'interrogeant sur l'efficacité du bâti et des systèmes face à la probabilité d'une utilisation « non adaptée » ou ne répondant pas aux scénarios retenus.

⁵⁰ Annexe à l'arrêté du 8 août 2008 portant approbation de la méthode de calcul Th-C-E ex prévue par l'arrêté du 13 juin 2008 relatif à la performance énergétique des bâtiments existants de surface supérieure à 1 000 mètres carrés, lorsqu'ils font l'objet de travaux de rénovation importants.

Obligation de rénovation dans le bâtiment et sanction en cas d'écart (Figure 66).

- 76,7 % des répondants aux questionnaires internet soit 191 acteurs estiment qu'une obligation de rénovation énergétique des bâtiments existant est nécessaire.
- 4 % répondent par la négative.
- Plus de 17% des répondants ne se prononcent pas.

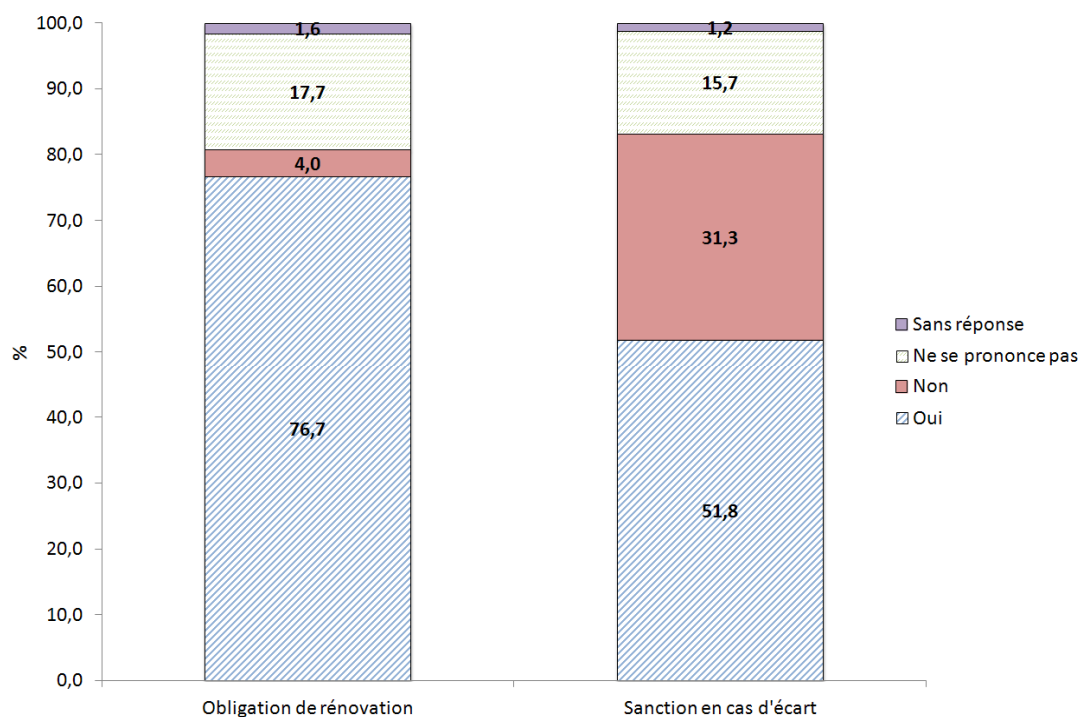


Figure 66 : Nécessité d'une obligation de rénovation et d'une sanction en cas d'écart.

Les acteurs interrogés par l'intermédiaire du questionnaire internet expriment en très grande majorité la nécessité à intégrer une obligation de rénovation du bâti existant. Cependant si l'obligation apparaît comme une idée largement plébiscitée, une sanction en cas d'écart n'est exprimée que par une courte majorité des répondants. Les sanctions, si elles peuvent être souhaitées, ne doivent laisser aucun doute sur l'acteur responsable ; ce que ne permet pas actuellement les outils utilisés.

Le Tableau 49 récapitule les caractéristiques et objectifs portés par le levier réglementaire.

Tableau 49 : Le levier réglementaire : récapitulatif.

Leviers :	Accroître les obligations réglementaires
Caractéristiques :	<ul style="list-style-type: none"> - Niveau d'exigence cohérent avec les objectifs du facteur 4 (principalement dans l'ancien). - Exigences de résultats et vérification de ces derniers. - Obligation de travaux.
Objectifs :	<ul style="list-style-type: none"> - Améliorer les niveaux de performance. - Limiter le Green Washing. - Préserver le gisement. - Unir les acteurs autour d'un objectif ambitieux (facteur 4) et <u>réglementaire</u>. - Lever l'inertie du système
Moyens et outils :	<ul style="list-style-type: none"> - Textes de lois et décrets d'application. - Outils de simulations dynamiques et tests sur le terrain pour la vérification des objectifs.
Acteurs à mobiliser :	- Politiques, Moe (BET), Entreprises du chantier.

Conclusion : Le bâtiment et le facteur 4, entre freins et leviers.

Atteindre les objectifs du facteur 4 dans le bâtiment n'est pas aisé. Au travers des données recueillies que ce soit par l'intermédiaire des entretiens, du forum ou encore des questionnaires internet, le système bâtiment apparaît encore largement entravé. Ces entraves, touchant les acteurs que ce soit en phase de conception, réalisation ou utilisation, limitent au travers de problématiques réglementaires, comportementales, techniques ou financières, l'évolution du système vers des consommations énergétiques moindres. Si, au travers des discours d'acteurs, la contrainte financière apparaît comme la plus pesante lors d'un projet de rénovation ou construction performante, l'enchevêtrement entre freins démontre de l'existence d'interrelations entre ces derniers. Ces interrelations imposent alors une conclusion qui au travers des discours d'acteurs semblent se dessiner en filigrane : Le système actuel face aux contraintes du facteur 4 nécessite non pas une adaptation voire une évolution mais une refonte des modes de penser et de faire. C'est d'ailleurs le message porté par la majorité des leviers abordés par les acteurs. Ainsi, et bien que des différences puissent apparaître entre territoires et profils d'acteurs, face à un système au mode de fonctionnement dépassé, repenser les étapes d'un projet et les interrelations entre acteurs est plébiscité. Ce nouveau fonctionnement, s'il est abordé explicitement au travers des nouveaux modes de conception du bâti, est repris de façon plus subtile via des outils et actions

innovantes. L'approche économique en coût global ou le développement d'approche marketing centrée sur la sensibilisation ou encore l'obligation d'atteinte des résultats constituent des exemples de ces changements envisagés. Le Tableau 50 propose un résumé des leviers possibles sur les freins évoqués. Les freins étant reliés entre eux, l'utilisation d'un levier sur un élément limitant peut potentiellement avoir une répercussion indirecte sur de nombreux freins. Ces relations indirectes ne sont pas présentées dans ce tableau.

Tableau 50 : Possibles relations directes entre freins et leviers évoqués par les acteurs

	Freins	Leviers	Sensibilisation des acteurs	Réglementation Obligation/Vérification	Approche en coût global	Formations pratiques et pragmatiques	Sobriété en phase Conception et utilisation	Financements adaptés	Phasage des travaux
Réglementaires	Absence de portage politique			✓					
	Réglementations thermiques peu exigeantes			✓					
	Calcul réglementaire complexe et approximatif			✓					
	Niveau de performance non vérifié			✓					
	Règles d'urbanismes parfois contradictoires			✓					
Comportementaux et sociétaux	Compétences limitées					✓			
	Manque de formations					✓			
	Difficulté à coordonner les équipes								✓
	Gestion de projet inadaptée						✓		✓
	Dialogue entre acteurs inexistant	✓	✓	✓	✓	✓			✓
	Connaissance des enjeux insuffisante	✓			✓				
	Perception d'un objectif théorique déconnecté de la pratique				✓				
	Objectifs non appropriés et non partagés	✓							
	La performance énergétique, un critère non prépondérant	✓			✓		✓	✓	
	Objectif perçu comme une contrainte	✓							
	Inertie du système	✓		✓					✓
	Sobriété abordée sous l'angle de la technique						✓		
	Augmentation des besoins						✓		
	Retour sur investissement faible				✓			✓	✓
Financiers	Capacité financière réduite				✓		✓	✓	✓
	Méconnaissance des systèmes de financements					✓			
	Aides financières insuffisantes				✓				
	Répartition des aides non adaptées							✓	
Technique	Problème de mise en œuvre			✓		✓			

Si les leviers abordés apportent des solutions à de nombreux freins, atteindre les performances souhaitées reste cependant encore problématique du fait des incohérences dans les hypothèses de calculs utilisées et de l'impact d'un acteur encore peu cité : l'habitant des lieux. Ainsi, au travers d'une recherche action menée sur 3 projets rénovations sur le territoire de Saint-Etienne Métropole, le chapitre suivant s'attachera à aborder les objectifs et perceptions des travaux par les utilisateurs ainsi que leurs impacts sur la performance des bâtis.

Chapitre 4.

Les usagers, des acteurs incontournables. Etude de cas
approfondie en recherche action au sein d'une entreprise sociale
pour l'habitat.

La transposition des objectifs théoriques portés par la notion de facteur 4 se heurte aux réalités pratiques du terrain. Les acteurs professionnels du bâtiment face à de nombreux freins d'ordre techniques, financiers, comportementaux ou réglementaires voient se réduire les possibilités d'atteinte des objectifs énergétiques dans le bâtiment. Faibles exigences réglementaires, absence de contrôle des niveaux de performance, retour sur investissement mitigé, acceptation des objectifs, et formations et compétences variables des acteurs sont de fait des éléments entravant le bon déroulement de projets performants. Si l'importance des freins reste variable selon les acteurs enquêtés, leur profession et leur localisation, une majorité semble orienter leur choix vers les contraintes financières et comportementales. Pour dépasser ces limites, un ensemble de leviers est évoqué. Axées sur de nouveaux outils économiques, de communication ou réglementaires, les solutions proposées tendent, au-delà d'une évolution du système bâtiment, d'amorcer une refonte des modes de penser et de faire. Engager ces changements nécessite de réévaluer les modes de concevoir et d'habiter, d'intégrer l'utilisation du bâti au travers des comportements et par conséquent d'accorder une place prépondérante à l'un des acteurs primordial d'un projet : l'habitant. L'utilisateur d'un lieu, de par son comportement et ses actions, impacte et contribue fortement aux consommations énergétiques effectives dans le bâtiment. Sa perception du bâti, l'acceptation des travaux, les efforts consentis pour une plus grande sobriété font partis des éléments devant être pris en compte et pouvant entraver un projet de rénovation. Or, bien souvent, l'utilisateur n'est envisagé que comme un « spectateur ». Cette impression est renforcée par les calculs réglementaires basés sur des hypothèses normées et peu représentatives du mode réel d'habiter. Les objectifs théoriquement atteignables donnent alors une vision « optimiste » de la performance attendue des opérations de construction et rénovation. Pour percevoir la place de l'habitant dans un projet, les possibles « dérives » des comportements et leurs impacts sur la performance du bâti, une recherche action suivant une méthodologie en 3 étapes a été menée auprès d'une entreprise sociale pour l'habitat de la Loire (Cité Nouvelle). Au travers du suivi de 3 projets de rénovation, la première étape a consisté en une série d'entretiens menée auprès de 200 locataires et a permis d'appréhender les caractéristiques de la population concernée, ainsi que leur perception du bâti et des travaux. La seconde étape, basée sur des campagnes de mesures a eu pour objectif d'approfondir l'utilisation du bâti par les locataires ainsi que de corrélérer les résultats subjectifs des enquêtes aux valeurs objectives des mesures. Enfin, les données acquises durant les deux premières étapes, reflet de l'utilisation de l'habitat par les locataires ont été utilisées afin de renseigner le plus précisément possible un logiciel de simulations thermiques dynamiques (Pléiades+COMFIE) (étape trois). Les simulations obtenues ont permis d'évaluer, selon différentes hypothèses, les consommations des bâtiments avant et après rénovations ainsi que l'impact des modes d'habiter sur la performance du bâti.

1. Méthodologie générale.

Les acteurs les plus contraints par le Grenelle en termes d'objectifs dans le bâtiment sont les bailleurs sociaux. De fait, et comme nous l'évoquions dans le chapitre 1, par l'article 5 du Grenelle de l'environnement, *« l'Etat se fixe comme objectif la rénovation de l'ensemble du parc de logements sociaux. A cet effet, pour commencer, 800 000 logements sociaux dont la consommation d'énergie est supérieure à 230 kilowattheures d'énergie primaire par mètre carré et par an feront l'objet de travaux avant 2020, afin de ramener leur consommation annuelle à des valeurs inférieures à 150 kilowattheures d'énergie primaire par mètre carré »* [GRENELLE, 2010]. De façon très concrète, cet objectif revient à atteindre au minimum l'étiquette C du DPE. Bien qu'encore très éloignés des objectifs du facteur 4 (60 kWh_{ep}/m²/an pour le chauffage et l'ECS), les bailleurs sociaux se doivent de respecter ces valeurs réglementaires dans le cadre de leurs projets de rénovation. L'atteinte de ces niveaux de performance énergétique est obtenue majoritairement par des actions sur la structure du bâti consistant, par un changement des huisseries ou encore l'ajout d'isolant, à réduire les déperditions d'énergie des parois opaques et vitrées. Cependant, si la réussite du projet et l'atteinte des niveaux de performance théoriques est fortement dépendante des techniques mises en œuvre, la performance effective quant à elle reste influençable par l'utilisateur des lieux, faisant alors de ce dernier un acteur clef à mobiliser. Cette « influence » des locataires intervient à deux niveaux : la participation financière et la sobriété d'utilisation, ces deux points recoupant les freins financiers et comportementaux relevés lors des enquêtes présentées au chapitre précédent. En effet, de par la loi MLLE du 25 mars 2009⁵¹ (article 119), *« lorsque des travaux d'économie d'énergie sont réalisés par le bailleur dans les parties privatives d'un logement ou dans les parties communes de l'immeuble, une contribution pour le partage des économies de charge peut être demandée au locataire du logement « loué » au travers d'une augmentation du loyer. L'acceptation et l'exécution des travaux ainsi que la participation financière restent cependant assujetties au vote de la majorité des locataires. En cas de refus, le projet est réévalué et reproposé. Au-delà de la concertation formelle obligatoire de par la loi, une concertation, plus informelle avec les habitants semble nécessaire afin de mieux connaître leur représentation du bâti et des travaux ainsi que des efforts consentis pour réduire leur consommation. Dans ce contexte et en coopération avec l'ESH, une démarche de recherche-action a été réalisée sur 3 opérations menées par Cité Nouvelle : une tour localisée sur le secteur de Saint-Etienne et deux groupes de logements situés sur la commune de Firminy (Commune de SEM). Les informations concernant les bâtiments, leur consommation, le type de rénovation envisagée ainsi que les caractéristiques des habitants ont été obtenues par une démarche d'acquisition des données en trois étapes.*

⁵¹ LOI n° 2009-323 du 25 mars 2009 de Mobilisation pour le Logement et la Lutte contre l'Exclusion.

La première étape a consisté à réaliser des enquêtes auprès des locataires de ces trois projets de l'entreprise sociale pour l'habitat (ESH) Cité Nouvelle. Les enquêtes menées sont basées sur un questionnaire directif constitué de 38 questions fermées préalablement validées par les services de Cité Nouvelle (Annexe 7). Averti par l'intermédiaire d'une lettre d'information envoyée par l'ESH, chaque locataire a été interrogé à son domicile entre le 17 et le 25 Février 2010. 9 enquêteurs formés et ayant pris connaissance du questionnaire via une réunion préalable ont mené à bien les entretiens d'une durée moyenne de 45 minutes. Au final, 114 ménages sur 205 (56%) ont été interrogés et leurs réponses, retranscrites dans un fichier Excel, analysées par l'intermédiaire du logiciel d'analyse statistique SPAD® 4.51. L'objectif est ici d'analyser la perception du bâti et des futurs travaux par les locataires afin de tenter de relever les motivations et limites à l'acceptation des travaux

En complément des enquêtes, des mesures ont été réalisées entre le 22 janvier et le 30 avril 2010 sur un échantillon de 16 logements dont les caractéristiques (orientations, tailles, étages) étaient représentatives des sites étudiés. Ces mesures réalisées à partir d'un Data logger multifonction intelligent (AMI 300) et de 20 enregistreurs (EL-USB-2) ont permis d'approfondir certains aspects comportementaux et techniques par l'acquisition de données ponctuelles des conditions intérieures de l'habitat. Les données mesurées ont été les suivantes :

- Température (°C) ;
- Humidité relative (%) ;
- Débit de ventilation (vol/h)).

Enfin, dans un troisième temps, et en réutilisant les données des enquêtes et des campagnes de mesures, des simulations thermiques dynamiques réalisées au travers du logiciel Pléiades+Comfie ont été développées. Ses simulations ont permis :

- D'évaluer en tenant compte des spécificités des locataires et de leur modes d'habiter la performance « effectives » des bâtiments ainsi que le confort de ces derniers;
- D'estimer l'influence d'un changement des modes d'habiter avant et après rénovations.

Les données extraites des entretiens, mesures et simulations se focaliseront principalement sur les seuls flux d'énergie utilisés pour le chauffage. Ce choix s'explique par la part importante que représente l'énergie de chauffe dans les bâtiments existants (70% des consommations totales du bâtiment) [CEREN, 2008] .

Ainsi, dans ce chapitre, après avoir décrit les sites étudiés ainsi que les principales caractéristiques des projets de rénovation, nous reviendrons sur les résultats des enquêtes. Par la

suite, en nous focalisant sur l'utilisation du bâti, nous analyserons les résultats des campagnes de mesures. Les principaux résultats de chacune des étapes seront présentés synthétiquement avant d'être mutualisés dans la partie 6. Enfin, en utilisant certaines données acquises durant les deux premières étapes, une estimation de la performance du bâti avant et après rénovation ainsi que l'impact des comportements sur les consommations de chauffage seront étudiés (Figure 67).

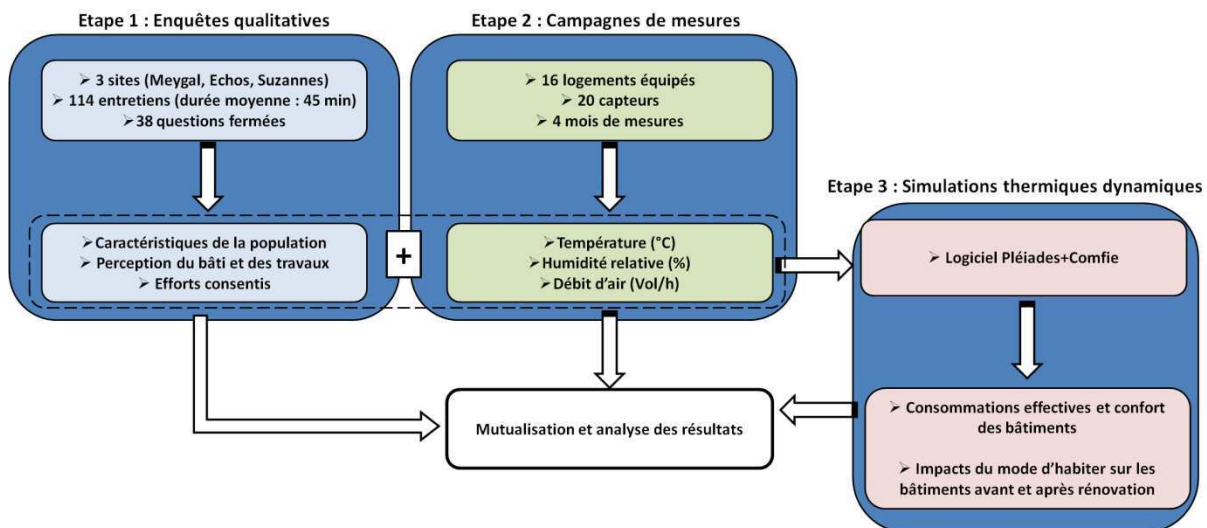


Figure 67 : Démarche de recherche-action en trois étapes.

2. Choix et description des sites d'études.

Dans le cadre de cette recherche action, un ensemble de logements distribués sur 2 localisations (Saint-Etienne et Firminy) a été étudié. Ces logements sont la propriété de Cité Nouvelle, première entreprise sociale pour l'habitat (ESH) ligérienne. Fondée en 1908, elle est aujourd'hui propriétaire et gestionnaire de plus de 8000 logements répartis sur les départements de la Loire (principalement sur le territoire de SEM) et du Rhône. En 2009, sous l'impulsion de son directeur Roland PERRELLE, Cité Nouvelle désireuse d'adapter ses processus métiers à de nouveaux enjeux tels que ceux liés au développement durable s'est orientée vers l'expérimentation de recherches appliquées. Nous proposons au travers de ce chapitre de revenir sur 3 projets de rénovation commencés en 2008 et dont les caractéristiques d'âge et de type sont représentatifs des logements présents sur le territoire de SEM (logement collectif construit avant 1975). Les trois projets étudiés seront présentés sous le nom communément donné aux bâtiments à savoir : la tour du Meygal, les Echos et les Suzannes, ces deux derniers bâtiments pouvant être regroupés sous l'appellation : « logements de Firminy ». Les parties 2.1 et 2.2 présentent les caractéristiques des bâtiments étudiés ainsi que les projets de rénovation envisagés.

2.1. La tour du Meygal.

➤ Caractéristiques générales.

L'immeuble dit du « Meygal » est un bâtiment de type tour construit en 1975 dans le quartier Bergson/la Terrasse de Saint-Etienne. Situé au 24 Rue Léon Blum, ce bâti, propriété de l'ESH Cité Nouvelle est implanté en zone urbaine à proximité de la ligne de tramway T1 et de l'axe autoroutier A72. Constitué de 107 logements sociaux allant du T2 au T5 répartis sur 18 étages, le bâtiment forme une surface habitable de plus de 7900 m² ayant une emprise au sol avoisinant les 500 m². Le bâtiment est fortement vitré et possède 4 façades principales orientées selon les 4 points cardinaux (Figure 68).



Figure 68 : Bâtiment du Meygal.

Le chauffage des zones habitées est assuré par l'intermédiaire d'un système collectif électrique chronoproportionnel par dalle chauffante permettant d'obtenir une température de base de 20°C. La durée de fonctionnement du chauffage est « inversement proportionnelle à la température extérieure (action chronoproportionnelle) : plus il fait froid et plus longtemps fonctionnera le chauffage. La température extérieure mesurée détermine, d'après les réglages de la consigne et de l'écart (ici 15°C), un taux de fonctionnement du chauffage (en %) ; ce taux de fonctionnement, multiplié par la base de temps (réglage) donne une durée de marche du chauffage » (définition de Hager pour le régulateur EK 285) (Figure 69).

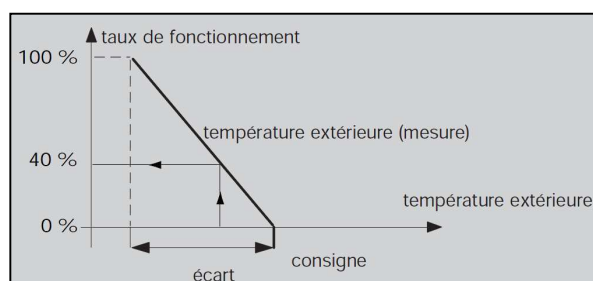


Figure 69 : Principe de fonctionnement du chauffage collectif chronoproportionnel.

Initialement prévu pour fonctionner à une température inférieure à celle précédemment mentionnée (20°C), le chauffage collectif est complété dans les appartements par des radiateurs d'appoints de type convecteur ou radiant. La puissance des radiateurs est variable selon l'orientation des logements et leur superficie.

➤ **Projet de rénovation.**

Estimée aux environs de 249 kWh_{ep}/m²/an (performance théorique issue de l'audit énergétique global (AEG), la tour du Meygal est actuellement classée au niveau de l'étiquette E du DPE. Déjà isolé sur l'ensemble de ses façades par des complexes isolants (Annexe 8), le bâtiment du Meygal pâtit de la présence de nombreux refends ainsi que de l'utilisation du vecteur électrique comme énergie pour le chauffage (Coefficient d'énergie primaire de 2,58). Présentant des surfaces vitrées importantes, les projets de rénovation proposés au travers des AEG et des études thermiques réalisées par différents bureaux d'études s'orientent en priorité vers un changement des menuiseries extérieures ainsi qu'un renforcement de l'isolation par l'extérieur. En complément de ces actions, une modification du système de régulation du chauffage est envisagée. Cette régulation adaptant la température intérieure aux conditions climatiques extérieures permettrait en complément des actions susmentionnées d'atteindre l'objectif réglementaire, à savoir l'étiquette C du DPE. En parallèle de ce projet, une seconde option de rénovation est envisagée. Cette option consisterait à créer des loggias permettant de former une zone tampon réduisant les transferts entre le logement et le milieu extérieur. Proposée par l'architecte, cette option aurait pour avantage de réduire les déperditions imputables aux ponts thermiques dus aux refends.

2.2. Le lotissement de Firminy : Les Echos et les Suzannes.

➤ **Caractéristiques générales.**

Le lotissement des Echos et des Suzannes regroupe 13 bâtiments allant du R+1 au R+3. Situés sur la commune de Firminy dans la Loire, à environ 20 km de Saint-Etienne, les bâtiments orientés Est-Ouest, à l'exception du bâtiment des Suzannes (orientation Nord-Sud), regroupent en majorité des logements de type 3 et 4. Construits dans les années 50, ces logements offrent une surface habitable totale de 374 (R+2) à 1008 m² (R+3) pour les bâtiments des Echos et 1128 m² pour les Suzannes. L'emprise au sol des différents bâtis est respectivement de 141 m² pour les Echos R+2, 285 m² pour les Echos R+3 et 620 m² pour les Suzannes (Figure 70).



Les Suzannes



Les Echos R+2



Les Echos R+3

Figure 70 : Les Echos et les Suzannes

Le chauffage des zones habitées est assuré par des chaudières individuelles à gaz dans l'ensemble des logements. La présence de chaudières à ventouse dans les logements des Suzannes assure un rendement de fonctionnement légèrement supérieur aux chaudières présentes aux Echos.

➤ **Projet de rénovation.**

Ayant une consommation estimée entre 266 et 291 kWh_{ep}/m²/an (performances théoriques issues des AEG et calcul réglementaire (THCE-ex)) pour les Echos et entre 231 et 321 kWh_{ep}/m²/ans pour les Suzannes, les logements de Firminy se classent, tout comme le Meygal, au niveau E du DPE. Exempt d'isolants sur l'ensemble de leurs parois (Annexe 9), exception faite des planchers-hauts pour les Echos, c'est tout naturellement que les projets de rénovation proposés s'orientent vers la mise en place de complexes isolants. Devant agir en logements occupés (tout comme au Meygal), une isolation par l'extérieur avec retour d'isolant au niveau des menuiseries (limitation des ponts thermiques) est privilégiée. A cela s'ajoute le remplacement des ventilations mécaniques contrôlées (VMC) par des systèmes hygro A permettant de limiter les échanges d'air tout en garantissant un débit suffisant.

3. Résultats des enquêtes : Caractéristiques de la population et perception du bâti et des travaux.

114 logements sur 205 (56%) ont été enquêtés dans le cadre de l'étude des bâtiments du Meygal (53 logements sur 107) et de Firminy (54 logements sur 86 aux Echos et 7 sur 12 aux Suzannes). Une seule personne, le plus souvent l'adulte présent, a été interrogée. Les résultats de l'échantillon sont les suivants.

3.1. Occupation des logements et caractéristiques de la population : descriptif de l'échantillon.

Vivant en moyenne depuis plus de 16 ans dans leur logement (Figure 71), les locataires du Meygal et de Firminy (Echos + Suzannes) constituent une population assez hétérogène en termes d'âge. 79% des locataires du Meygal et 60% de Firminy ont plus de 40 ans portant ainsi la moyenne d'âge respective à 57 et 52 ans (Figure 72). 65% des locataires interrogés sont des femmes. 32% des locataires du Meygal ont un emploi, 17% n'en n'ont pas et 51% sont retraités. Les logements de Firminy suivent un schéma identique avec une population en majorité inactive (réciproquement 56% et 86% de retraités et sans emploi aux Echos et aux Suzannes).

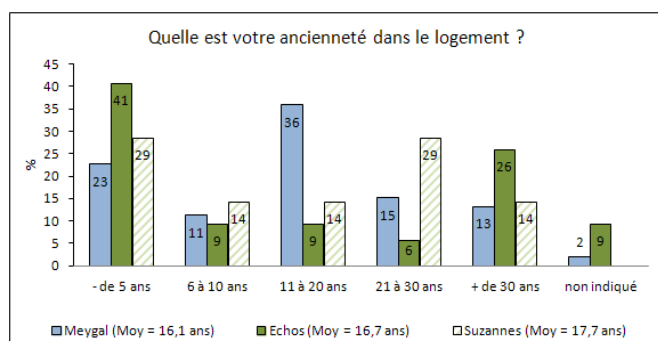


Figure 71: Ancienneté dans le logement

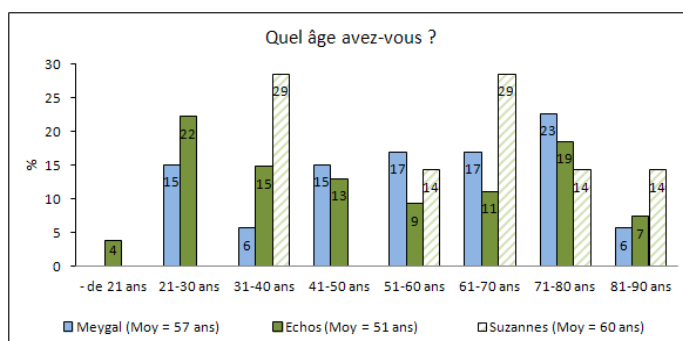


Figure 72: Tranches d'âge des locataires

Le nombre de locataires par logement est en moyenne de 2 à la date du 25/03/2010 (Figure 73), soit une superficie moyenne par personne de 34 m² à Firminy et 37 m² au Meygal. Ces valeurs sont respectivement de 13% et 23% supérieures à la moyenne française donnée par l'INSEE en 2008 (30 m² par personne pour les locataires du secteur social [INSEE, 2008]) et montrent donc un faible taux d'occupation des logements. Il est cependant à remarquer que le nombre maximum de locataires ayant habité dans les logements sur les 40 dernières années est en moyenne de 3 à 6 selon les sites étudiés, soit une superficie de 25m² (Meygal) et 17m² (Firminy) par habitant. Malgré un taux de vacance avoisinant les 0%, les logements des différents sites enregistrent donc une diminution du taux d'occupation. Le faible taux d'occupation dans ces logements est d'autant plus frappant pour les types 4 qui, alors qu'ils « libèrent » 47 m² par habitant au Meygal, proposent entre 73 (Echos) et 94 m²/hab (Suzannes) dans les logements de Firminy. La « sous-occupation » des appartements peut être imputée à deux phénomènes. Premièrement, la multiplication des familles monoparentales amène les locataires à occuper des logements pouvant accueillir ponctuellement un nombre de personnes plus élevé. Deuxièmement, le départ des jeunes adultes des logements et le décès d'un des membres du couple accentuent la diminution du taux d'occupation. Ces phénomènes regroupés sous le terme de décohabitation reflètent la tendance actuelle des ménages en France à occuper des surfaces par habitant de plus en plus importante [INSEE, 2011].

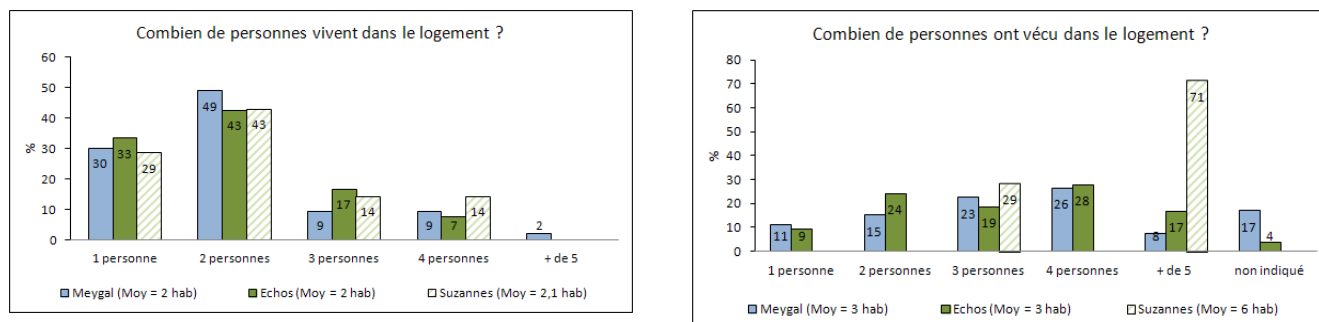


Figure 73: Nombre de personnes vivant (gauche) ou ayant vécu dans les logements (droite).

3.2. Données relatives au confort et au système de chauffage.

Les locataires des bâtiments enquêtés semblent avoir une sensation de confort (température dans le logement) variable selon les sites. De fait, aux Echos, près de 52% des locataires expriment leur satisfaction totale et ce, quelle que soit la saison (Figure 74). A l'inverse, au Meygal et aux Suzannes, l'inconfort reste prédominant : 49% des locataires du Meygal et 71% de ceux des Suzannes ont des sensations de froid en hiver, soit plus de la moitié de l'ensemble des locataires interrogés. Enfin, l'inconfort en été n'est mentionné que par une faible proportion des locataires. Il est ici important de souligner que l'inconfort en été fait référence uniquement à des événements ponctuels, exceptionnels (canicule, été très chaud, ...) et non répétitifs. A contrario, l'inconfort hivernal apparaît chronique et ressenti sur de longues périodes du fait de la faible isolation des parois et de la mauvaise étanchéité des fenêtres.

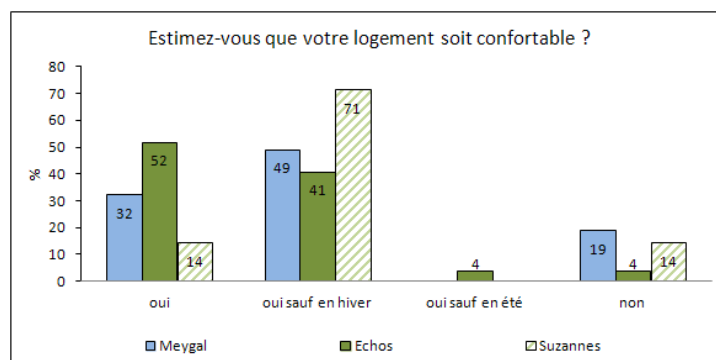


Figure 74: Impression de confort dans les logements

Au Meygal, 40% des locataires interrogés ne sont pas satisfaits du système de chauffage par le sol et le considèrent comme inefficace (Figure 75) mais peu coûteux (45% estime le coût comme normal voire faible). Cette impression d'inefficacité peut en partie être expliquée par une idée reçue des locataires qui, à 50%, pensent que le chauffage par le sol doit assurer en totalité les besoins des logements. Par conséquent, près de 40% des locataires n'utilisent pas leur chauffage

d'appoint ce qui, comme nous le verrons, impacte le confort des logements. La non-utilisation du chauffage d'appoint s'explique aussi par le coût engendré par ce dernier, qui selon certains locataires « *double voir triple la facture d'électricité* ».

A contrario, dans les logements des Echos, plus de 74% des locataires sont satisfaits de leur chaudière (individuelle) qui leur paraît efficace. L'impression d'efficacité est accrue par le sentiment de « nouveauté » du système (ancienneté de la chaudière inférieure à 4 ans) et pourrait en partie expliquer le confort supérieur ressenti dans ces logements alors même que la performance moyenne des parois (isolation) est moindre. Cependant, et malgré la perception efficace du système, 70% des locataires trouvent le coût du chauffage élevé voire très élevé (Figure 76). Les logements des Suzannes quant à eux, bien que partageant l'impression d'efficacité du chauffage perçoivent dans leur totalité son coût comme élevé à très élevé.

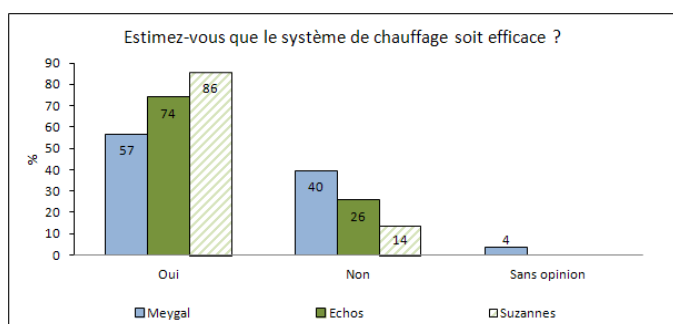


Figure 75 : Efficacité du système de chauffage

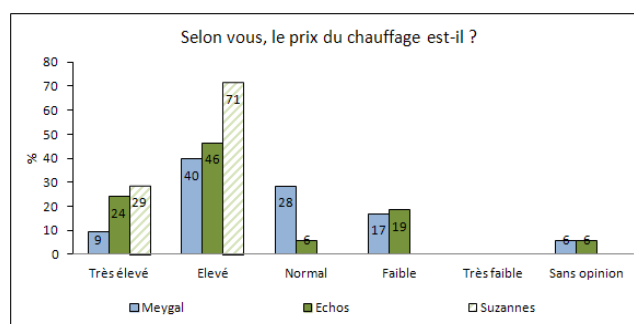


Figure 76: Coût de l'utilisation du chauffage

En ce qui concerne la température dans les logements, au Meygal, les locataires estiment en moyenne leur température idéale à 21°C la journée et 19°C la nuit (Figure 77) sans pour autant connaître la température de consigne définie par le bailleur social (~60% des locataires ne connaissent pas la température de consigne du logement (Figure 78)). A Firminy (exception faite des Suzannes), un constat identique peut être dressé. En effet, et bien que les températures idéales soient inférieures d'environ 1°C à celles estimées précédemment, l'absence de connaissance des températures de consigne reste flagrante (Près de 60 % des locataires des Echos ne connaissent pas la température de consigne dans leur logement). D'une façon générale, nous verrons par la suite que les températures considérées comme « idéales » par les locataires (cf. partie 4) sont largement dépassées dans la réalité des faits (22°C en moyenne). A la vue de ces résultats, plusieurs points peuvent être mis en avant. Premièrement, les températures idéales mentionnées restent supérieures aux températures réglementaires et préconisées par l'ADEME (19°C) et ce même aux Echos où le confort ressenti est considéré comme bon. Deuxièmement, une campagne de sobriété visant à réduire les températures des logements semble difficile du fait de l'absence de connaissance des consignes du thermostat dans la majorité des logements enquêtés ainsi que des sensations d'inconfort ressenties.

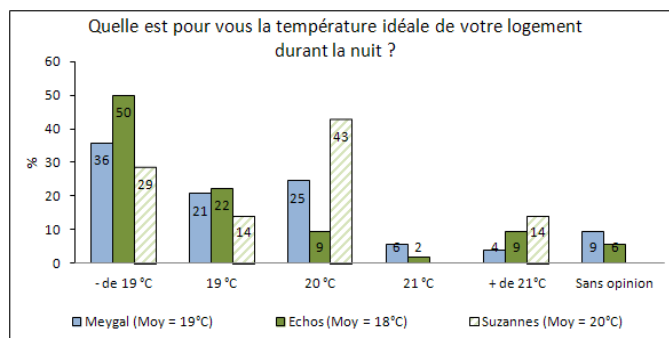
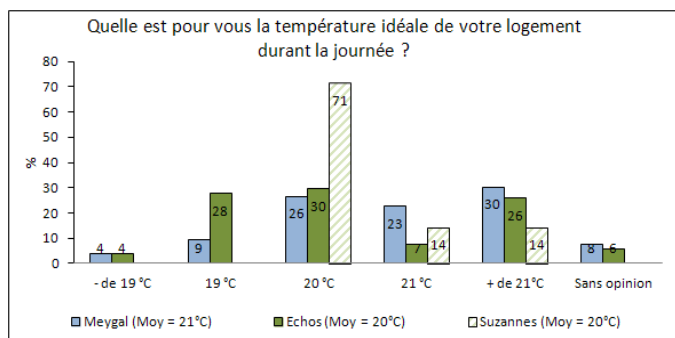


Figure 77: Températures idéales dans les logements le jour (gauche) et la nuit (droite)

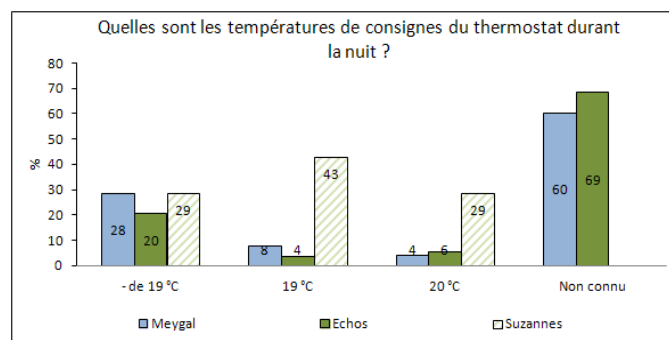
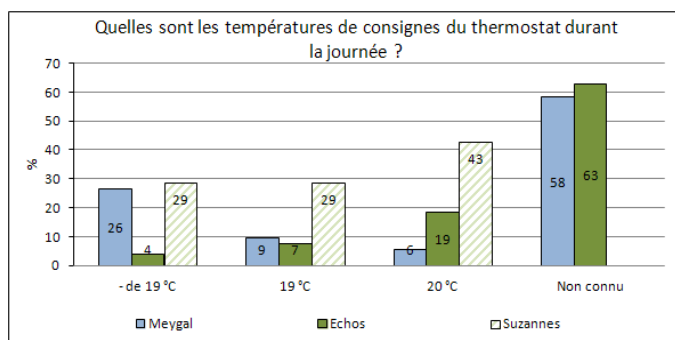


Figure 78: Consignes du thermostat selon les locataires, de jour (gauche) et de nuit (droite)

3.3. La perception du bâti et des travaux et les efforts consentis par les locataires.

Aux Echos, 67% des locataires interrogés considèrent le bâtiment comme étant faiblement (37%) voire très faiblement (30%) isolé (Figure 79). Les travaux de rénovation sont donc perçus par 78% des locataires comme nécessaires (Figure 80). Dans les logements du Meygal et des Suzannes, un constat identique peut être relevé ; le bâtiment, faiblement à très faiblement isolé, nécessite d'être rénové pour plus de 90% des locataires.

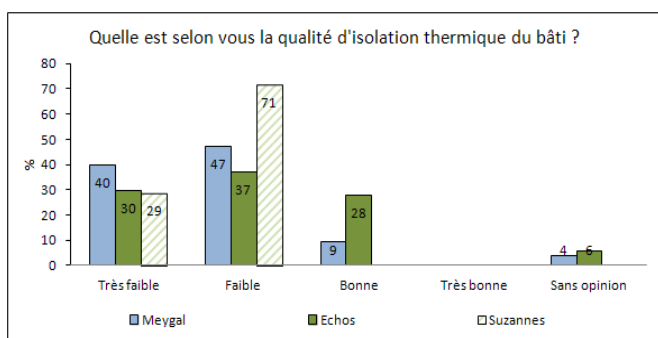


Figure 79 : Qualité thermique du bâti selon les locataires

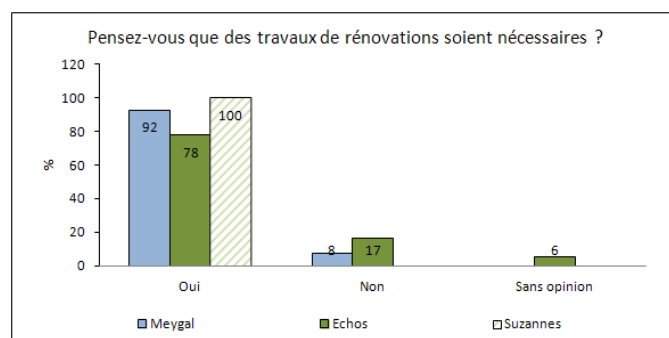


Figure 80 : Nécessité des travaux de rénovation

Les préoccupations environnementales ne sont cependant pas la motivation première pour

laquelle les locataires souhaitent une rénovation. Les aspects financiers et de confort se révèlent être les objectifs attendus pour des travaux envisagés. Leur ordre de citation varie cependant selon les immeubles étudiés. Ainsi, alors que 40% des locataires du Meygal et 57% de ceux des Suzannes évoquent le confort comme vocation prioritaire des travaux, les locataires des Echos, qui semblent plus satisfaits du confort des bâtiments, privilégient la réduction des charges financières à plus de 30% (Figure 81) tout en accordant une place de choix aux aspects de confort (élément prioritaire pour plus de 27% des occupants). En termes d'éléments du bâti devant être réhabilités, les fenêtres constituent l'élément majoritairement cité par les locataires du Meygal (85 %) et des Echos (48%). En revanche, aux Suzannes, les locataires orientent leur choix vers une isolation des parois opaques (Figure 82). La priorisation des menuiseries et des parois provient des sensations d'inconfort pouvant être directement ressenties à l'abord de ces éléments (courant d'air, condensation sous les menuiseries, phénomènes de parois froides). La proportion supérieure des références aux fenêtres, au Meygal, s'explique par la plus grande surface vitrée dans chacun des logements et l'ancienneté de ces éléments (1975). D'un point de vue thermique, les fenêtres sont effectivement de par leur surface et leurs caractéristiques (âge, conductance, ...) les principales causes des déperditions, et ce contrairement aux logements de Firminy. De fait, une réhabilitation menée en 1990 sur ces bâtiments (Echos + Suzannes) a permis, le remplacement des menuiseries initiales par de nouveaux modèles en PVC munis de double vitrage. Au regard de ces résultats, deux points d'étonnement peuvent être évoqués. Tout d'abord, pour le bâti du Meygal, le fort mécontentement des locataires quant au système de chauffage nous aurait amené à penser que cet élément fasse parti des priorités des travaux. Or, seuls 2% citent ce point comme devant être traité alors même qu'ils étaient plus de 40% à critiquer son efficacité. Deuxièmement, l'absence de complexe isolant, et donc la forte conductance des parois, n'est que peu relevée dans les logements des Echos alors même qu'elle est soulignée aux Suzannes (ces deux logements n'étant pas isolés).

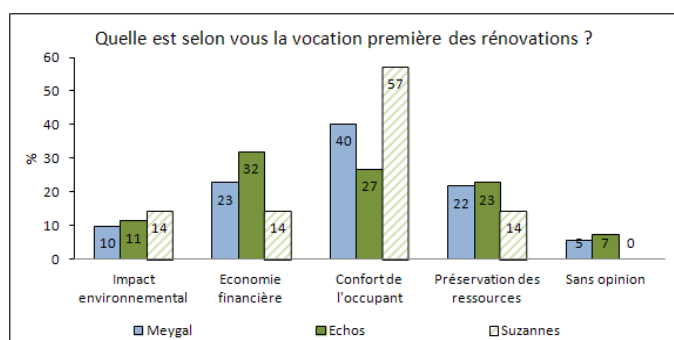


Figure 81: Vocation des rénovations

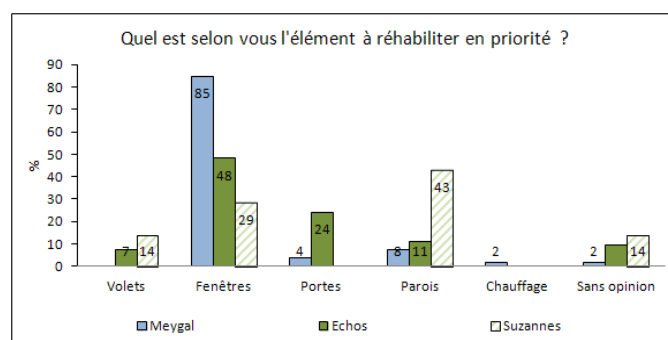


Figure 82: Eléments à réhabiliter en priorité

Concernant une éventuelle baisse de la température dans les logements, quels que soient les sites étudiés, les occupants restent en majorité hostiles à cette proposition avant rénovation, du

fait de l'inconfort déjà ressenti en hiver. Cependant, après rénovation, ces proportions tendent à s'inverser. Ainsi, 55% des locataires du Meygal et plus de 70% de ceux de Firminy se disent prêts à envisager une baisse de température. Baisse proportionnelle aux sensations actuelles de confort et pouvant atteindre 1°C, 2°C voire plus de 2°C respectivement pour 28%, 17% et 9% des locataires du Meygal et 30%, 30% et 20% des locataires de Firminy (Figure 83). Malgré tout, l'éventuelle baisse est conditionnée à l'atteinte des objectifs de rénovation ainsi qu'à une amélioration du confort, conditions identiques pour l'acceptation d'une répercussion de l'investissement sur le loyer. Il est cependant à signaler que les « partisans » à l'augmentation de loyer ne recouvrent qu'une faible majorité et près de 40% des locataires des Echos et du Meygal expriment un non « ferme » à cette augmentation (Figure 84), refus atteignant plus de 70 % dans les logements des Suzannes.

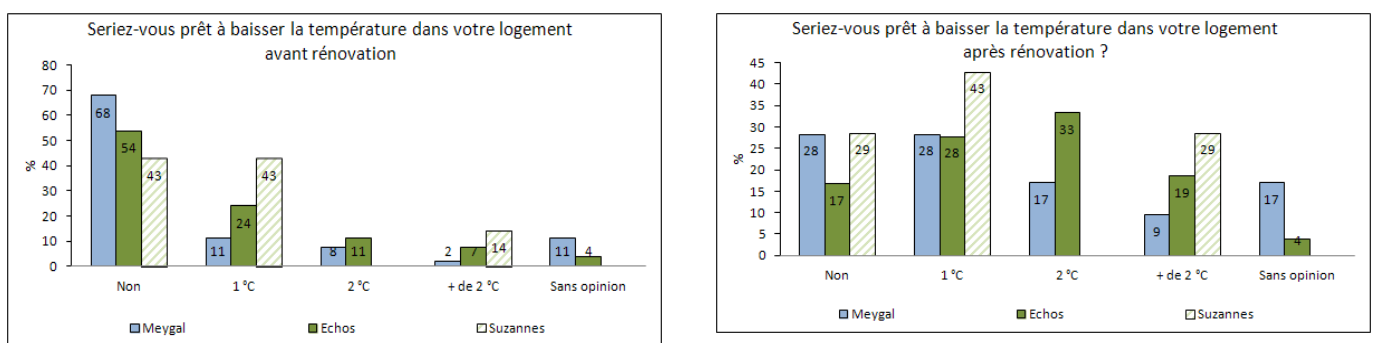


Figure 83: Diminution de la température dans les logements avant rénovation (gauche) et après (droite).

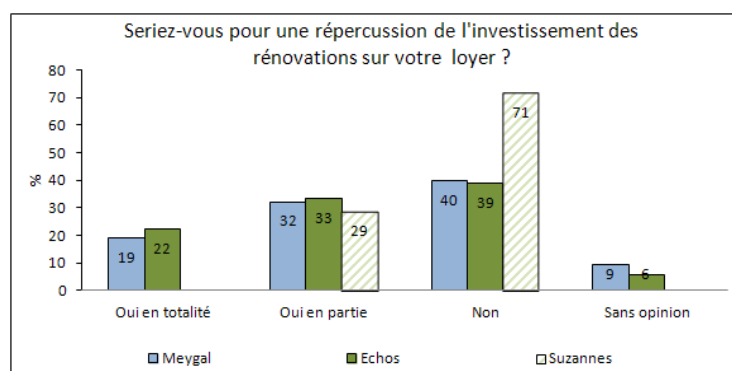


Figure 84: Répercussion de l'investissement sur le loyer.

3.4. Les résultats des enquêtes, récapitulatif des éléments essentiels.

Les enquêtes menées auprès de l'ensemble des locataires des sites étudiés montrent des caractéristiques spécifiques à chaque bâtiment. Nous reprenons ici les points de similitudes et de divergences les plus notoires (Tableau 51).

Tableau 51 : Convergences et divergences entre sites étudiés

	Meygal	Echos	Suzannes
population	Aucune différence significative ne ressort entre site. Etant situés en moyenne dans la même tranche d'âge [51-60 ans], les locataires majoritairement retraités ou sans emploi occupent leurs logements depuis plus de 16 ans en moyenne. Le taux d'occupation est en moyenne de 2 personnes par appartement.		
Confort et système de chauffage	<p>Les locataires du Meygal jugent leur système de chauffage inefficace mais paradoxalement peu coûteux.</p> <p>L'inefficacité du système couplée à des températures idéales élevées (> 21°C) semblent impacter la sensation de confort et ce, notamment en période hivernale</p>	<p>Contrairement au Meygal, les locataires de Firminy estiment leur système de chauffage efficace mais jugent son coût très élevé.</p> <p>Aux Echos, le confort apparaît positif quelle que soit la saison et les températures idéales restent contenues à 20°C</p>	<p>Aux Suzannes, les périodes hivernales impactent le confort</p>
	Quels que soient les logements étudiés, exception faite des Suzannes, les températures de consigne ou du thermostat sont inconnues pour plus de la moitié des locataires.		
Perception du bâti et efforts consentis	<p>Jugée faible à très faible, l'isolation du bâti, au travers d'un changement des menuiseries, apparaît nécessaire pour la majorité des locataires interrogés. Aux Suzannes, les locataires s'orientent en majorité vers l'isolation des parois.</p> <p>En termes de participation, les locataires tendent vers une participation financière plus que vers une réduction des températures de consigne</p>	<p>A Firminy, les efforts portent majoritairement vers une accentuation de la sobriété au travers d'une baisse de la température de consigne. La participation financière étant refusée notamment aux Suzannes</p>	

4. Les mesures in-situ : Caractéristiques et conditions de pose des capteurs.

Afin d'appréhender le plus précisément possible le comportement et d'expliquer la perception des locataires (perception du bâti, confort ressentis, ...), et par la suite d'estimer au travers des simulations l'impact de l'utilisateur sur les consommations d'énergie, des mesures in-situ ont été réalisées. Deux campagnes de mesures ont été effectuées. La première campagne, ponctuelle, a été menée lors d'une visite de site afin de quantifier les débits de ventilation dans les zones pourvues d'extracteurs d'air. La deuxième campagne a consisté à mesurer les températures ambiantes de l'air ainsi que l'humidité relative dans 16 logements (6 au Meygal, 6 aux Echos et 4 aux Suzannes). Les mesures effectuées ont été réalisées par un équipement dont les caractéristiques techniques sont données en annexe 10. Les capteurs (EL-USB-2) installés à une hauteur de 1m80 sur les

chambranles des portes, protégés des sources de chaleur ponctuelles (rayonnement solaire direct, radiateur ou appareil électroménager) ont permis une discrétisation des températures par logement à un pas de temps horaire. L'emplacement des différents capteurs (point rouge) est représenté dans la Figure 85 ci-dessous. Le pas de temps choisi pour les mesures était de 30 minutes. Les résultats des températures et de l'humidité relative présentés par la suite correspondent à la moyenne mesurée sur la durée de la campagne. Dans le cadre des mesures de température à l'intérieur des logements des trois groupes d'immeubles (Les Echos, les Suzannes et le Meygal), plusieurs grandes tendances et différences peuvent être identifiées. Nous présenterons dans la partie suivante les données concernant la température minimum/maximum atteinte pendant la période de chauffe (Janvier à Avril) ainsi que les températures moyennes diurnes et nocturnes et leurs écarts-types.



Figure 85 : Emplacement des capteurs de température et d'humidité dans les logements du Meygal (en haut), des Echos R+2 (en bas à gauche) et des Suzannes (en bas à droite).

Le choix des paramètres de température, d'humidité et de débit d'air s'explique ici par l'interaction de ces derniers sur le confort ressenti par les occupants. D'une manière générale, le

confort thermique en un lieu donné dépend de deux grandes familles de facteur : les facteurs liés à l'individu (âge, sexe, habillement, activité métabolique) et les facteurs liés à l'environnement. Parmi cette seconde famille, la température de l'air et des surfaces (température opérative), la vitesse de l'air (en m/s) ainsi que l'humidité relative font partie des éléments conditionnant le plus le confort⁵².

Ainsi il est généralement admis que l'humidité relative (HR) intervient sur le confort au-delà de 60% ou en dessous de 40% [DEOUX et al, 2004]. De même, une vitesse de l'air a une influence au-delà de 0,2 m/s. Dans le cadre de notre étude, la vitesse de l'air n'ayant pu être mesurée, nous estimerons l'éventuelle interaction de ce paramètre au travers de la notion de débit d'air extrait par les ventilations des logements (débit moyen conventionnel : 0,5 vol/h). La température opérative idéale quant à elle pour des valeurs d'HR et de vitesses d'air prémentionnées, varie en fonction de l'habillement (Clo) et de l'activité métabolique (Met). La Figure 86 donne la température opérative idéale permettant d'obtenir, auprès d'une population donnée, plus de 90% de satisfaction. Ainsi, une personne habillée en tenue d'intérieur pour l'hiver (clo = 1) et réalisant une activité sédentaire (lecture, études, etc.) (Met = 1,2) nécessitera une température opérative de près de 22°C [AFNOR, 2003].

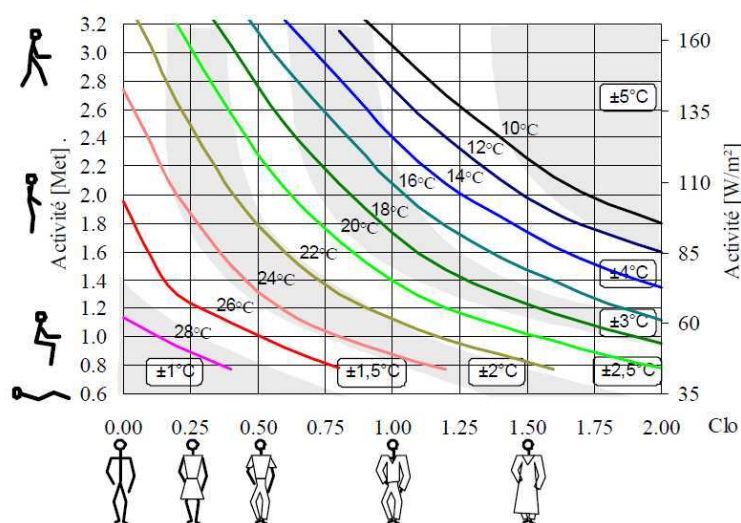


Figure 86 : Température opérative idéale en fonction de l'habillement et du métabolisme [ROULET, 2008]

Pour autant, les capteurs positionnés étant axés sur la température de l'air, nous retiendrons comme température intérieure « optimale » celle définie par l'article R131-20 du code de la construction et de l'habitation à savoir 19°C.

⁵² L'asymétrie de température radiante constitue un facteur d'inconfort supplémentaire. Ainsi, un écart de température de 4 degré kelvin entre la tête et les pieds entraînera une augmentation de l'insatisfaction de l'ordre de 10% [ROULET, 2008].

4.1. Le Meygal : mesures in-situ.

➤ Température des logements.

Les 10 capteurs positionnés dans 6 logements répartis sur les étages 8 et 9 du Meygal⁵³ (18 étages au total) indiquent en moyenne une température de 22,3°C sur la période de chauffe. Les différences jour/nuit restent assez faibles avec un delta de 0,2°C seulement. Les températures minimum et maximum atteintes durant les mesures sont respectivement de 17,5°C et 27,5°C toutes zones confondues. Les zones Nord du bâtiment présentent les températures parmi les plus élevées (23,7°C en moyenne J/N). De fait, elles font partie des logements les mieux isolés de par la présence de polystyrène sur cette façade du bâtiment et de « l'absence » de ponts thermiques. A l'inverse, les logements situés au Sud et à l'Ouest, de par leur forte exposition au rayonnement solaire rasant ainsi qu'à la présence de nombreux ponts thermiques dus aux refends, sont fortement assujettis aux variations de température (Etage 8 T2 O pièce à vivre : T_{min} 17,5°C, T_{max} : 27,5°C) (Tableau 52).

D'une façon générale, les températures moyennes mesurées entre les mois de Janvier et d'Avril sont au-dessus de la température de consigne indiquée par le bailleur social (20°C). Cette différence s'explique par la présence de chauffages d'appoints dans les logements, leur utilisation étant variable selon les utilisateurs, le nombre d'occupants, ainsi que les périodes de présence. Ainsi, si l'on compare la température moyenne horaire de la pièce à vivre du logement le plus froid (Etage 8 T2 O Pièce à vivre) et le plus chaud (Etage 9 T4 O Pièce à vivre) sur l'ensemble de la période de chauffe, le delta moyen de ces deux logements mitoyens se situe autour de 2,1°C (Figure 87).

⁵³ Certains locataires de logements situés à l'étage 8 n'ayant pu être contactés, leurs homologues de l'étage supérieur ont été instrumentés (étage 9). En terme de caractéristiques (orientation, surface, résistance thermique des surfaces), les logements situés entre le 2 et le 17^{ème} étage sont considérés comme identiques.

Tableau 52 : Moyenne des températures entre les mois de Janvier et Avril dans les logements du Meygal
(Rdc : Rez-de-chaussée, O : Ouest, NE : Nord Est, SE : Sud Est, SO : Sud Ouest

	Moyenne des températures et écart-type (°C) - 22 Janvier- 30 Avril					
Position des capteurs	Jour (7h-21h)	Nuit (22h-6h)	J/N (0h-24h)	T _{min}	T _{max}	Ecart J/N
Etage 8 T3 NE Chambre	22,4 \pm 0,9	21,9 \pm 1,0	22,1 \pm 1,0	19	25,5	- 0,5
Etage 8 T3 NE Pièce à vivre	22,8 \pm 0,8	22,8 \pm 0,8	22,8 \pm 0,8	18	25	0
Etage 8 T3 E Pièce à vivre	22,7 \pm 0,8	22,0 \pm 0,9	22,3 \pm 0,8	19,5	26	- 0,7
Etage 9 T3 SE Chambre	21,4 \pm 1,1	21,5 \pm 0,9	21,4 \pm 1,0	19	24,5	+ 0,1
Etage 9 T3 SE Pièce à vivre	21,8 \pm 1,1	21,3 \pm 1,1	21,5 \pm 1,1	18,5	25,5	- 0,5
Etage 9 T5 SO Chambre	22,3 \pm 1,0	22,2 \pm 0,9	22,2 \pm 0,9	19	25	- 0,1
Etage 9 T5 SO Pièce à vivre	22,0 \pm 1,0	21,7 \pm 1,0	21,9 \pm 1,0	19	26	- 0,3
Etage 8 T2 O Pièce à vivre	21,6 \pm 1,3	21,3 \pm 1,2	21,4 \pm 1,2	17,5	27,5	- 0,3
Etage 9 T4 N Pièce à vivre	23,7 \pm 0,8	23,7 \pm 0,9	23,7 \pm 0,9	20	26,5	0
Etage 9 T4 N Chambre	23,5 \pm 0,8	23,4 \pm 0,8	23,4 \pm 0,8	21	25,5	- 0,1
Moyenne Chambre	22,4 \pm 1,0	22,3 \pm 0,9	22,3 \pm 1,0	19,5	25,1	- 0,1
Moyenne pièce à vivre	22,4 \pm 1,0	22,3 \pm 1,0	22,3 \pm 1,0	18,8	26,1	-0,1
Moyenne immeuble	22,4 \pm 1,2	22,2 \pm 1,2	22,3 \pm 1,1	19,1	25,7	- 0,2

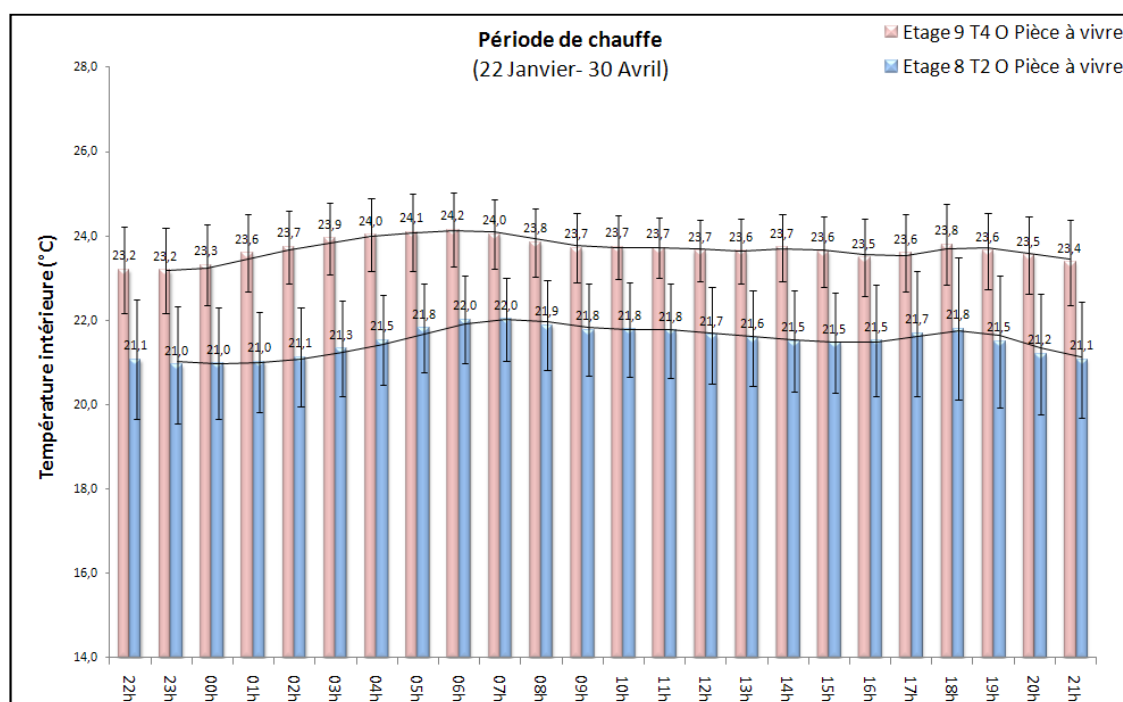


Figure 87 : Ecart et moyenne des températures entre le logement le plus froid et le plus chaud au Meygal.

Une très faible différence de température entre le jour et la nuit dans les logements est de plus à signaler. La température nocturne dans les chambres (22,3°C) est de 4,3°C supérieure à celle conseillée (18°C) pour une bonne qualité du sommeil (Un chauffage excessif entraînant un assèchement des voies respiratoires, des maux de têtes, etc.) [DEOUX et al, 2004]. De plus, il est important de remarquer que la température moyenne diurne de 22,3°C est de 3,3°C au dessus de la température réglementaire de 19°C. De par ce constat, et devant l'impact de la température sur les consommations (cf. 7.1), les campagnes de sensibilisation quant à une réduction de la température des logements proposées par les acteurs professionnels (Cf. chapitre 3) montrent ici toute leur pertinence et pourraient être réalisables. En effet, lors des enquêtes, les locataires du Meygal estimaient leur température de confort diurne et nocturne respectivement à 21 et 19°C soit 1 à 3°C de moins que celles relevées. Malgré tout, le système de chauffage constitue un frein à une éventuelle baisse des températures et ce principalement durant la nuit. De fait, le chauffage au sol par accumulation, nécessite un fonctionnement nocturne pendant les heures creuses afin de permettre une restitution des calories durant la journée. Par conséquent, la dalle commence à chauffer à 22h pour s'arrêter à 6h (les données mesurées et présentées en Figure 87 permettent de distinguer la mise en charge de la dalle) augmentant alors la température des logements durant les périodes de repos des occupants.

➤ Débits de ventilation.

Le système de ventilation du Meygal semble pouvoir permettre un renouvellement d'air

suffisant dans les logements (Tableau 53). Seule la ventilation des toilettes reste inférieure au minimum requis dans ce type de pièce. Le débit de ventilation est cependant très variable d'un logement à l'autre. Dans de nombreux logements, malgré un entretien annuel par un prestataire extérieur des bouches d'aération, des extractions sont obstruées par l'accumulation de poussière quand elles ne sont pas bouchées par le locataire. Ces derniers, justifient ce calfeutrement par une amélioration du confort ressenti. Il faut de plus souligner que, bien que les grilles soient nettoyées, les conduits entre le logement et les colonnes d'extraction sont très souvent sales, réduisant le diamètre du tuyau d'évacuation et donc le débit de ventilation.

Tableau 53 : Débit moyen de ventilation mesuré dans les logements du Meygal.

	Débit observé	Débit Minimum ⁵⁴
Débit cuisine (m ³ /h)	44 _{+/- 6}	43
Débit toilettes (m ³ /h)	17 _{+/- 18}	20
Débit Salle de bain (m ³ /h)	36 _{+/- 8}	28
Débit moy/log (m ³ /h)	97 _{+/- 12}	80
Débit moy/log (vol/h)	0,57 _{+/- 0,2}	/

➤ Humidité relative (HR).

Les résultats des mesures effectuées dans les 6 logements du Meygal montrent que l'humidité relative est faible (HR = 30%) (Tableau 54). En effet, en moyenne, l'HR est inférieure à 40, **93,7%** du temps (Tableau 55). Ce faible taux peut être imputé aux températures élevées dans les logements et au système de chauffage. L'humidité relative s'avère donc ici trop basse pour un confort optimal dans les logements du Meygal. En ce qui concerne la borne supérieure, les logements ne sont jamais au-delà des valeurs préconisées. Bien qu'importante, l'humidité relative n'est pas prise en compte par les modèles de simulation thermique dynamique. Les valeurs présentées ne seront donc pas utilisées pour déterminer la performance du bâti et l'influence sur les consommations dans la partie 7. Cependant, en tant qu'élément de confort, les projets de rénovation devraient prendre en compte de ce point. Or, malgré l'importance des aspects d'hygrométrie, ces derniers ne sont que très rarement pris en compte par les concepteurs. Le projet du Meygal, de même que ceux de Firminy ne faisant pas exceptions.

⁵⁴ Arrêté du 24 mars 1982 relatif à l'aération des logements (moyenne pour l'ensemble des types de logement)

Tableau 54 : Humidité relative entre les mois de Janvier et Avril dans les logements du Meygal.

	Humidité relative moyenne et écart-type (%) - 22 Janvier- 30 Avril					
Position des capteurs	Jour (7h-21h)	Nuit (22h-6h)	J/N (0h-24h)	HR _{min}	HR _{max}	Ecart J/N
Etage 8 T3 NE Chambre	31,2 +/- 4,1	31,6 +/- 3,8	31,3 +/- 3,9	18,0	46,5	+ 0,4
Etage 8 T3 NE Pièce à vivre	29,6 +/- 4,2	29,0 +/- 4,0	29,4 +/- 4,0	15,5	47	- 0,6
Etage 8 T3 E Pièce à vivre	28,1 +/- 5,1	27,3 +/- 4,7	27,7 +/- 4,8	13,5	51,5	- 0,8
Etage 9 T3 SE Chambre	30,2 +/- 4,4	31,1 +/- 4,2	30,4 +/- 4,2	16,0	47,0	+ 0,9
Etage 9 T3 SE Pièce à vivre	29,7 +/- 4,4	29,4 +/- 4,5	29,5 +/- 4,3	14,0	48,0	- 0,3
Etage 9 T5 SO Chambre	29,9 +/- 4,4	30,1 +/- 4,2	29,9 +/- 4,2	16,0	54	+ 0,2
Etage 9 T5 SO Pièce à vivre	29,2 +/- 4,5	29,2 +/- 4,1	29,1 +/- 4,2	16,0	50,5	0
Etage 8 T2 O Pièce à vivre	29,0 +/- 5,5	30,4 +/- 5,5	29,4 +/- 5,3	14,5	54,5	+ 1,4
Etage 9 T4 N Pièce à vivre	31,2 +/- 4,5	30,9 +/- 4,4	31,0 +/- 4,4	16	54,5	- 0,3
Etage 9 T4 N Chambre	31,8 +/- 4,4	33,7 +/- 4,7	32,4 +/- 4,7	17	51,5	+ 1,9
Moyenne Chambre	30,8 +/- 4,3	31,6 +/- 4,2	31,0 +/- 4,3	16,8	49,8	+ 0,8
Moyenne pièce à vivre	29,5 +/- 4,7	29,4 +/- 4,5	29,4 +/- 4,5	14,9	51,0	- 0,1
Moyenne immeuble	30,0 +/- 4,5	30,3 +/- 4,4	30,0 +/- 4,4	15,7	50,5	+ 0,3

Tableau 55 : % du temps où l'humidité relative des logements du Meygal est inférieure ou supérieure aux valeurs conseillées.

	% temps < 40%	% temps > 60%
Moyenne Chambre	91,3	0
Moyenne pièce à vivre	95,3	0
Moyenne immeuble	93,7	0

4.2. Les Echos : mesures in-situ.

➤ Température des logements.

Les logements des Echos ont été instrumentés par 6 capteurs couvrant l'ensemble des logements d'un bâtiment R+2 (Ce type de bâti représentant la majorité des immeubles sur le site de Firminy). Les capteurs placés dans les pièces à vivre révèlent une température moyenne sur la période de chauffe de 19,9 °C (Moyenne Jour/Nuit). Les écarts entre les températures diurnes et nocturnes sont à l'instar du Meygal quasi nuls (Tableau 56). Les températures minimales sont cependant plus basses qu'au Meygal, avoisinant 14°C, notamment pour les logements directement sous les combles. A l'inverse, les températures maximales atteintes sont de l'ordre de 25,5°C. La présence de chauffages individuels dans les logements rend hétérogènes les températures d'ambiance. Ainsi, un écart moyen de près de 4°C est à signaler entre le logement de type 4 situé au dernier étage et le logement de type 3 situé au niveau intermédiaire. L'étude des courbes moyennes horaires des températures suggère l'arrêt du chauffage dans le T4 à partir de 21h, entraînant du fait de l'absence d'isolation adéquate, une chute importante des températures jusqu'à la remise en marche du système vers 7h du matin. A l'inverse, la température dans le logement de type 3 au 1^{ère} étage apparaît homogène quelles que soient les heures de la journée (Figure 88).

Tableau 56 : Moyenne des températures entre les mois de Janvier et Avril dans les logements des Echos.

	Moyenne des températures et écart type (°C) 22 Janvier- 30 Avril					
Position des capteurs	Jour (7h-21h)	Nuit (22h-6h)	J/N (0h-24h)	T _{min}	T _{max}	Ecart J/N
Rdc T3a Pièce à vivre	20,6 \pm 0,8	20,3 \pm 0,6	20,5 \pm 0,7	18	24,5	- 0,3
Rdc T3b Pièce à vivre	19,7 \pm 0,6	19,7 \pm 0,6	19,7 \pm 0,6	16,5	22,5	0
Etage 1 T3a Pièce à vivre	21,6 \pm 1,2	21,8 \pm 1,1	21,7 \pm 1,1	17	25,5	+ 0,2
Etage 2 T3 Pièce à vivre	19,7 \pm 1,2	19,6 \pm 1,0	19,7 \pm 1,1	15,5	25	- 0,1
Etage 2 T4 Pièce à vivre	18,3 \pm 1,0	17,4 \pm 1,0	17,8 \pm 1,0	14	21,5	- 0,9
Moyenne immeuble	20,0 \pm 1,6	19,8 \pm 1,2	19,9 \pm 1,3	16,2	23,8	-0,2

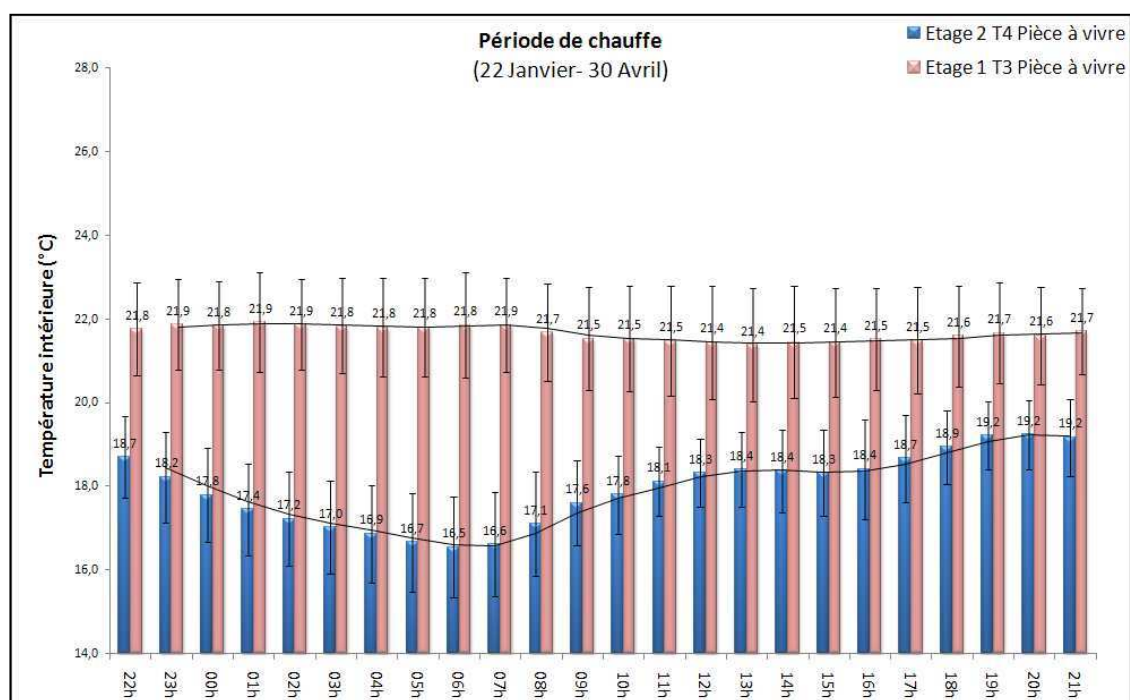


Figure 88 : Ecart et moyenne des températures entre le logement le plus froid et le plus chaud aux Echos.

Dans ces logements, bien que la température moyenne soit inférieure à celle mesurée au Meygal, elle reste supérieure de 1°C à la valeur réglementaire de 19°C et de 1,8°C à la valeur conseillée la nuit. Pour autant, les valeurs mesurées se rapprochent des températures idéales mentionnées durant les entretiens (particulièrement durant la journée). La possibilité de régulation du système de chauffage par les locataires (contrairement au Meygal et exception faite du chauffage d'appoint) ne semble pas étrangère à cela de même que l'impression de confort perçue dans les logements.

➤ Débits de ventilation.

Au niveau des débits d'air mesurés dans les logements, les volumes totaux extraits sont, au moment de la mesure, conformes au minimum requis, soit environ 0,56 vol/h par logement (

Tableau 57). Il faut cependant observer que les mesures d'air dans les cuisines n'ont pu être effectuées du fait de l'absence de bouches d'extraction ou de leur utilisation par le système de chauffage. La ventilation, bien que normale dans les toilettes est, en revanche, 2 fois supérieure au minimum requis dans les salles de bain. D'une façon générale, bien que la ventilation soit conforme aux exigences, de grandes variations existent entre les logements, les étages et les pièces.

Tableau 57 : Débit moyen de ventilation mesuré dans les logements des Echos.

	Débit observé	Débit Minimum
Débit cuisine (m ³ /h)	0	45
Débit toilette (m ³ /h)	25 _{+/- 9}	20
Débit Salle de bain (m ³ /h)	63 _{+/- 11}	30
Débit moy/log (m ³ /h)	88 _{+/- 16}	80
Débit moy/log (vol/h)	0,56 _{+/- 0,1}	/

➤ Humidité relative (HR).

L'humidité relative mesurée à l'intérieur des logements des ECHOS est en moyenne, tous logements confondus, de 39,2% (Tableau 58). L'humidité relative est inférieure à 40% seulement 48,3% du temps, ce qui permet de supposer que le confort dans les logements est moins impacté par cette variable que ceux du Meygal). En ce qui concerne la borne supérieure, les logements ne sont quasiment jamais au-delà des valeurs préconisées (Tableau 59).

Tableau 58 : Humidité relative entre les mois de Janvier et Avril dans les logements des ECHOS.

	Humidité relative moyenne et écart type (%) - 22 Janvier- 30 Avril					
Position des capteurs	Jour (7h-21h)	Nuit (22h-6h)	J/N (0h-24h)	HR _{min}	HR _{max}	Ecart J/N
Rdc T3a Pièce à vivre	35,0 _{+/- 5,8}	34,9 _{+/- 5,6}	34,9 _{+/- 5,6}	19,5	60,5	- 0,1
Rdc T3b Pièce à vivre	38,4 _{+/- 5,9}	39,9 _{+/- 5,8}	39,0 _{+/- 5,9}	22,5	71,0	+ 1,5
Etage 1 T3a Pièce à vivre	36,4 _{+/- 5,4}	37,6 _{+/- 5,2}	36,8 _{+/- 5,5}	22	72,5	+ 1,2
Etage 2 T3 Pièce à vivre	45,1 _{+/- 5,0}	45,7 _{+/- 3,9}	45,3 _{+/- 4,6}	27,5	70	+ 0,6
Etage 2 T4 Pièce à vivre	39,9 _{+/- 4,6}	40,0 _{+/- 4,2}	40,0 _{+/- 4,4}	27,5	67,5	+ 0,1
Moyenne immeuble	39,0 _{+/- 5,4}	39,6 _{+/- 4,9}	39,2 _{+/- 5,2}	23,8	68,3	+ 0,6

Tableau 59 : % du temps où l'humidité relative des logements des ECHOS est inférieure ou supérieure aux valeurs conseillées.

	% temps < 40%	% temps > 60%
Moyenne immeuble	48,3	0,2

4.3. Les Suzannes : mesures in-situ.

➤ Température des logements.

Parmi les 3 bâtiments instrumentés, celui des Suzannes est celui où les températures maximales atteintes sont les plus élevées et où les écarts entre la température minimum et maximum sont les plus importants. De fait, des températures de plus de 27°C ont été enregistrées tranchant avec les températures minimum avoisinant les 17°C (Tableau 60). Au niveau des températures moyennes horaires, aucune variation des températures n'est à signaler au cours de la journée, la moyenne restant autour de 21,8°C pour le logement le plus froid et 23,5°C pour le logement le plus chaud (Figure 89). Ainsi, tous logements confondus, la température moyenne J/N est de 22,2°C.

Tableau 60 : Moyenne des températures entre les mois de Janvier et Avril dans les logements des Suzannes.

	Moyenne des températures et écart-type (°C) - 22 Janvier- 30 Avril					
Position des capteurs	Jour (7h-21h)	Nuit (22h-6h)	J/N (0h-24h)	T _{min}	T _{max}	Ecart J/N
Rdc T4b Pièce à vivre	23,5 \pm 0,7	23,6 \pm 0,5	23,5 \pm 0,7	21	27,5	+ 0,1
Etage 1 T4a Pièce à vivre	21,2 \pm 0,9	21,4 \pm 0,9	21,3 \pm 0,9	17	25,5	+ 0,2
Etage 1 T4b Pièce à vivre	21,9 \pm 1,1	21,6 \pm 1,1	21,8 \pm 1,1	17,5	26	-0,3
Moyenne immeuble	22,2 \pm 1,2	22,2 \pm 1,2	22,2 \pm 1,1	18,5	26,3	0

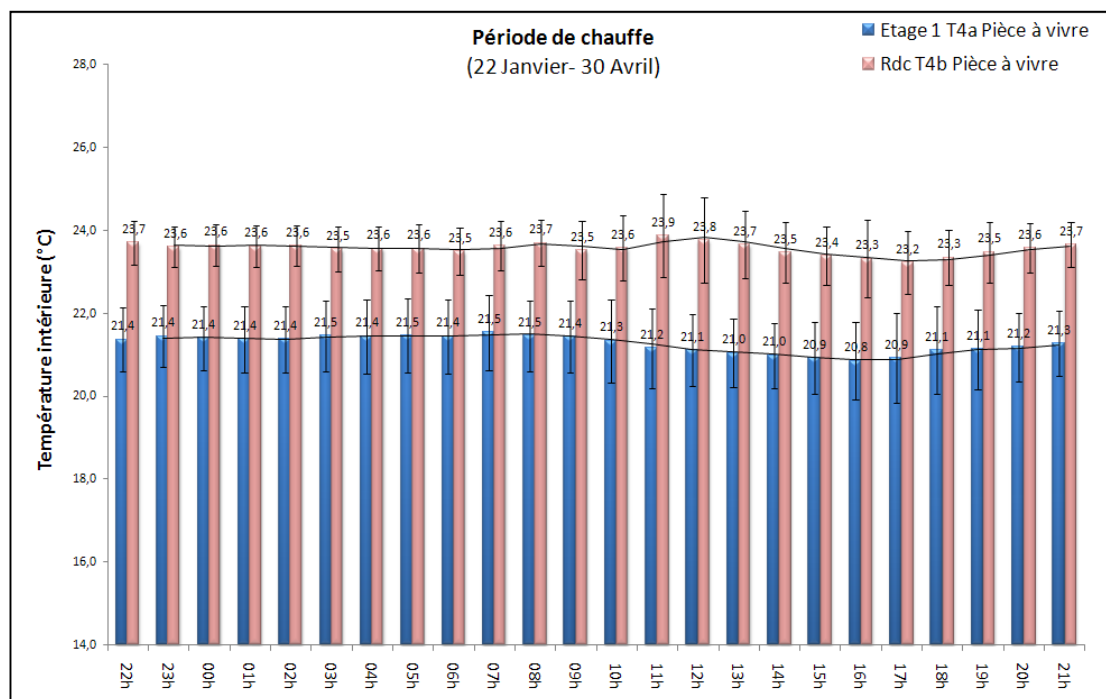


Figure 89 : Ecart et moyenne des températures entre le logement le plus froid et le plus chaud aux Suzannes.

Les températures élevées, relevées dans les logements des Suzannes sont en moyenne supérieures de 3,2°C aux valeurs réglementaires. De plus, aucune différence jour/nuit n'est détectable. Une campagne de sensibilisation semble ici nécessaire, sachant qu'une proposition de baisse de la température serait, selon les résultats d'enquêtes, acceptée par 71% des locataires après rénovation.

➤ Débits de ventilation.

Le système de ventilation dans les logements des Suzannes paraît fonctionner de façon anormale (Tableau 61). De fait, les données récoltées lors de la campagne de mesures des débits d'air sont très au-dessus des valeurs mesurées dans les précédents bâtiments (Meygal et Echos). Si cette surventilation peut permettre une évacuation de l'air vicié au-delà du minimum requis, un renouvellement d'air trop important impactera de façon drastique les consommations d'énergie et aura des conséquences probables sur le confort. La mise en place d'une ventilation hygro B proposée lors du projet de rénovation devrait tendre à normaliser les débits autour de valeurs conformes à la réglementation et permettant de limiter les pertes énergétiques.

Tableau 61 : Débit moyen de ventilation mesuré dans les logements des Suzannes.

	Débit observé	Débit Minimum
Débit cuisine	173 _{+/- 56}	45
Débit toilette	28 _{+/- 55}	30
Débit Salle de bain	188 _{+/- 375}	30
Débit moy/log (m ³ /h)	388 _{+/- 337}	90
Débit moy/log (vol/h)	1,37 _{+/- 0,5}	/

➤ **Humidité relative (HR).**

L'humidité relative dans les logements des Suzannes pendant la période de chauffe est en moyenne égale à 41% (Tableau 62). Ce taux est le plus élevé des 3 bâtis étudiés. Pour autant, le ratio durant lequel cette valeur limite n'est pas atteinte est équivalent à celui des Echos et atteint 46% du temps (Tableau 63). Les maximums d'humidité relative sont quant à eux rarement dépassés (0,5% du temps).

Tableau 62 : Humidité relative entre les mois de Janvier et Avril dans les logements des Suzannes.

	Humidité relative moyenne et écart type (%) - 22 Janvier- 30 Avril					
Position des capteurs	Jour (7h-21h)	Nuit (22h-6h)	J/N (0h-24h)	HR _{min}	HR _{max}	Ecart J/N
Rdc T4b Pièce à vivre	48,4 _{+/- 4,5}	49,0 _{+/- 3,7}	48,6 _{+/- 4,2}	32,0	64,5	+ 0,6
Etage 1 T4a Pièce à vivre	39,6 _{+/- 6,1}	38,1 _{+/- 4,5}	38,9 _{+/- 5,9}	23,0	81,5	- 1,5
Etage 1 T4b Pièce à vivre	35,1 _{+/- 4,3}	34,3 _{+/- 3,6}	34,8 _{+/- 4,0}	24,0	58,0	-1,2
Moyenne immeuble	41,0 _{+/- 5,0}	40,5 _{+/- 3,9}	40,8 _{+/- 4,7}	26,3	68,0	- 0,5

Tableau 63 : % du temps où l'humidité relative des logements des Suzannes est inférieure ou supérieure aux valeurs conseillées.

	% temps < 30%	% temps < 40%	% temps > 60%	% temps > 70%
Moyenne immeuble	6,8	46,8	0,5	0,1

4.4. Les mesures in-situ en quelques mots.

Les campagnes de mesures réalisées dans les logements du Meygal, des Echos et des Suzannes

montrent des disparités importantes inter et intra sites (Figure 90). L'analyse des températures fait ressortir des relevés moyens supérieurs à 22°C au Meygal comme aux Suzannes, soit des valeurs largement supérieures aux températures considérées comme « idéales » par les locataires. Les locataires des Echos sont « plus sobres » avec des valeurs moyennes inférieures à 20°C. Toutefois, cette sobriété est limitée étant donné que l'écart entre les valeurs diurnes et nocturnes (tout comme au Meygal et aux Suzannes) reste quasi nul. Concernant les données relatives à l'humidité et au débit d'air extrait, seuls les logements des Echos se situent dans des valeurs approximant les normes conseillées. En revanche, les logements du Meygal, avec une valeur d'humidité relative moyenne en dessous de la borne inférieure, montrent un milieu plus sec pouvant impacter le confort des occupants. Les Suzannes, quant à elles, bien que proposant des valeurs d'HR quasi identiques au logement des Echos, souffrent d'une surventilation anormale. Cette surventilation accentue les échanges entre le logement et l'extérieur conduisant à des mouvements d'air pouvant impacter la sensation de confort des locataires.

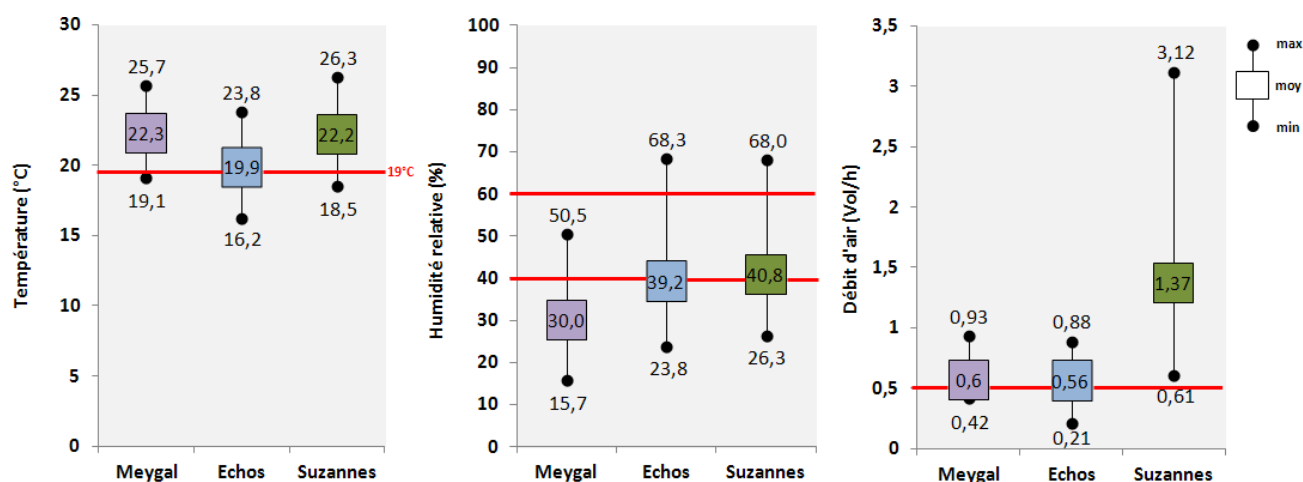


Figure 90 : Données des campagnes de mesures dans les trois sites étudiés

5. Etudes par simulations thermiques dynamiques.

Les études par simulations thermiques dynamiques constituent la troisième étape de notre démarche. En utilisant certaines données des questionnaires (taux d'occupation, etc.) et les résultats des campagnes de mesures, nous avons réalisé des modèles numériques des bâtiments. L'objectif des modèles est double et vise à :

- Evaluer en tenant compte des spécificités des locataires et de leurs modes d'habiter la performance effective des bâtiments ainsi que le confort de ces derniers;
- Estimer l'influence d'un changement des modes d'habiter avant et après rénovations.

5.1. Sélection de l'environnement de simulation.

Aujourd'hui, plus de 400 logiciels de simulations circulent sur le marché au niveau mondial⁵⁵. Bien que leur finalité soit souvent commune : *« optimiser des bâtiments de sorte à réduire les consommations énergétiques voire produire de l'énergie »* [BRUN et al, 2009], plusieurs classifications peuvent être proposées : selon leur environnement de calcul et selon leurs usage. La classification par environnement de calcul différencie trois catégories d'outil de simulations : monolithiques, modulaires, et basés sur des systèmes d'équations [MORA, 2003].

- Les environnements monolithiques de simulations, *« sont conçus pour répondre à un objectif initial précis en terme de simulation, qui se traduit par la mise en œuvre d'algorithmes pour formuler le problème et ensuite le résoudre pour un ensemble de conditions aux limites et initiales spécifiées lors de chaque simulation »*.
- Les environnements modulaires *« consistent à assembler des modules ou sous-routines pour la formulation et la résolution du problème. Chaque module est dédié à la mise en œuvre d'une tâche élémentaire. L'intérêt de ce type d'approche est de mettre en place une librairie de modules spécialisés que l'on peut utiliser et enrichir par la suite »*.
- Les environnements basés sur les systèmes d'équations *« permettent de formuler le problème à résoudre uniquement en termes d'association de systèmes d'équations. Ils possèdent des méthodes numériques de résolutions générales bien adaptées aux systèmes algébriques, différentiels et discrets. Ils ne sont donc pas dédiés uniquement à la modélisation des performances des bâtiments »*.

Tout comme la classification par environnement, le regroupement par usages rassemble les outils de simulations en trois grands groupes [TITTELEIN, 2008] :

- Le premier groupe (obtenir des tendances) *« comprend des outils dédiés à l'étude des bâtiments en phase d'avant projet qui requièrent un niveau d'expertise faible. Ils permettent d'obtenir rapidement des tendances sur le comportement thermique du bâtiment »*.
- Le second groupe (optimiser l'enveloppe), assez proche du premier, *« comporte des outils qui peuvent être utilisés dans une phase un peu plus avancée de la conception du bâtiment. Ils permettent d'aller jusqu'à l'optimisation de l'enveloppe et l'assistance à la maîtrise d'ouvrage dans le cadre d'un projet de haute qualité environnementale par exemple »*.
- Enfin, le troisième groupe (dimensionner les équipements) *« regroupe les environnements qui permettent de prendre en compte des phénomènes beaucoup plus complexes ce qui se paye souvent en termes de convivialité et parfois de rapidité de calcul. »*

⁵⁵ http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/

Dans le cadre de cette étude, le choix de l'outil de simulation s'est porté sur les logiciels du second groupe, nous permettant d'obtenir rapidement au travers d'une interface conviviale les besoins de chauffage du bâti ainsi que des informations sur le niveau de confort des logements. Parmi les outils existants, notre choix s'est porté sur le logiciel Pléiades + COMFIE dans sa version 3.1.10 (Encart 12).

Encart 12 : Pléiades+COMFIE

Pléiades+COMFIE est un outil de simulation thermique dynamique basé sur un environnement monolithique. Développé conjointement par le Centre d'Energétique de l'Ecole des Mines de Paris et le bureau d'étude IZUBA, ce logiciel permet de calculer le comportement d'un bâtiment pouvant être divisé en quarante zones thermiques différentes. Chaque zone est délimitée par plusieurs parois découpées en mailles. Chacune des mailles correspond alors au volume d'air de la zone spécifique et aux parois internes dites légères (Capacité thermique surfacique inférieure à 7 Wh/K/m^2) [IZUBA ENERGIES, 2011]. Les calculs consistent à réduire un modèle aux différences finies par analyse modale, et permettent entre autre de simuler en régime dynamique les besoins énergétiques pour le chauffage et le refroidissement [SALOMON et al, 2005b]. De plus, le confort thermique peut être évalué avec des indicateurs de taux d'inconfort et de surchauffes d'été. L'emploi et l'apprentissage du logiciel sont rendus aisés par une interface graphique dénommée Alcyone. Cette interface permet une saisie simple des bâtiments dont les caractéristiques sont exportées sous Pléiades+COMFIE. En outre, Alcyone permet à partir d'un plan numérisé (Autocad, Image JPG,..) de dessiner le bâti et de renseigner en quelques minutes les principales caractéristiques des parois et leur emplacement. De façon pratique, ces deux logiciels sont utilisés conjointement pour la conception ou l'analyse de projets neufs et existants en régime dynamique [IZUBA ENERGIES, 2011]. Enfin, Pléiades avec plus de 700 licenciés constitue l'un des logiciels les plus utilisés par les acteurs du bâtiment en France.

5.2. Estimation des consommations du bâti et du confort ressenti.

En se basant sur les images Autocad⁵⁶ représentant les plans des différents bâtis étudiés, ainsi que sur les détails techniques des bâtiments (types de parois, type de matériaux, ...) fourni par la maîtrise d'œuvre, les consommations de chauffage ainsi que le confort des logements ont été simulés. Préalablement à chacune de ces simulations, les scénarios d'utilisation du bâti, à savoir : le taux d'occupation, la température de consigne, le débit de ventilation, et le taux de fermeture des volets ont été renseignés (Annexe 11). Les données d'entrée de ces scénarios proviennent

⁵⁶ Autocad est un logiciel de conception assisté par ordinateur permettant la représentation 2D ou 3D d'objet. Il est notamment utilisé en architecture pour la représentation des plans de bâtiment.

directement des campagnes de mesures et enquêtes réalisées. Les résultats synthétiques des simulations regroupant les consommations de chauffage ainsi que le confort sont présentés ci-dessous pour l'ensemble des bâtis (Figure 91). Une description plus précise des performances des bâtiments (Consommation de chauffage et d'eau) est accessible en annexe 12_a à 15_a. L'estimation du confort dans Pléiades est calculée à partir du modèle de confort adaptatif défini par de Dear et Brager [BRAGER et al, 2002]. Ainsi, les résultats simulés représentent le pourcentage de temps durant lequel la température opérative (fonction de la température extérieure) est satisfaisante pour plus de 90% des locataires (Annexe 16).

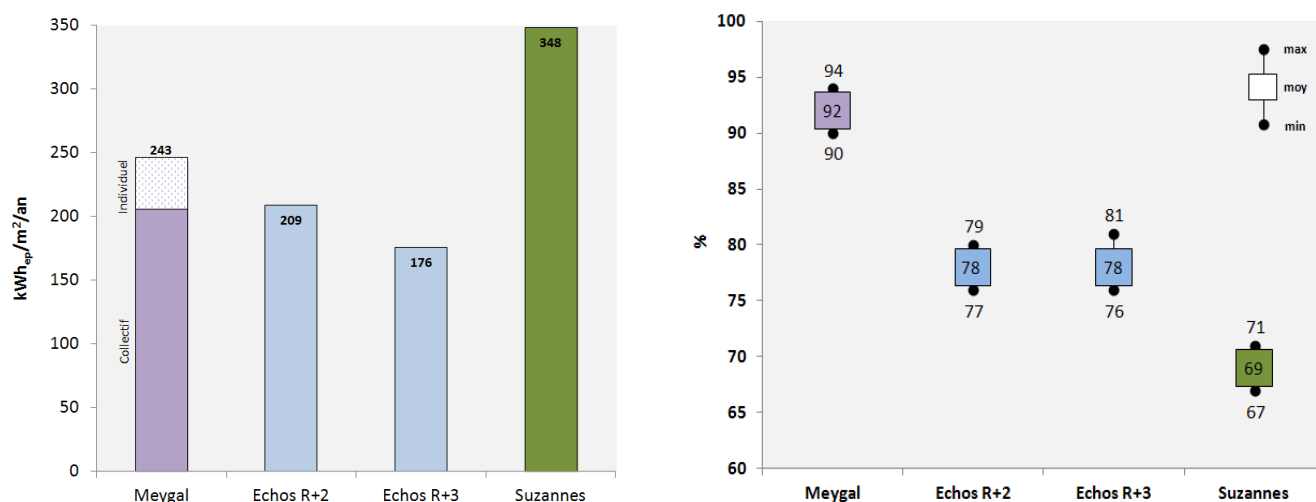


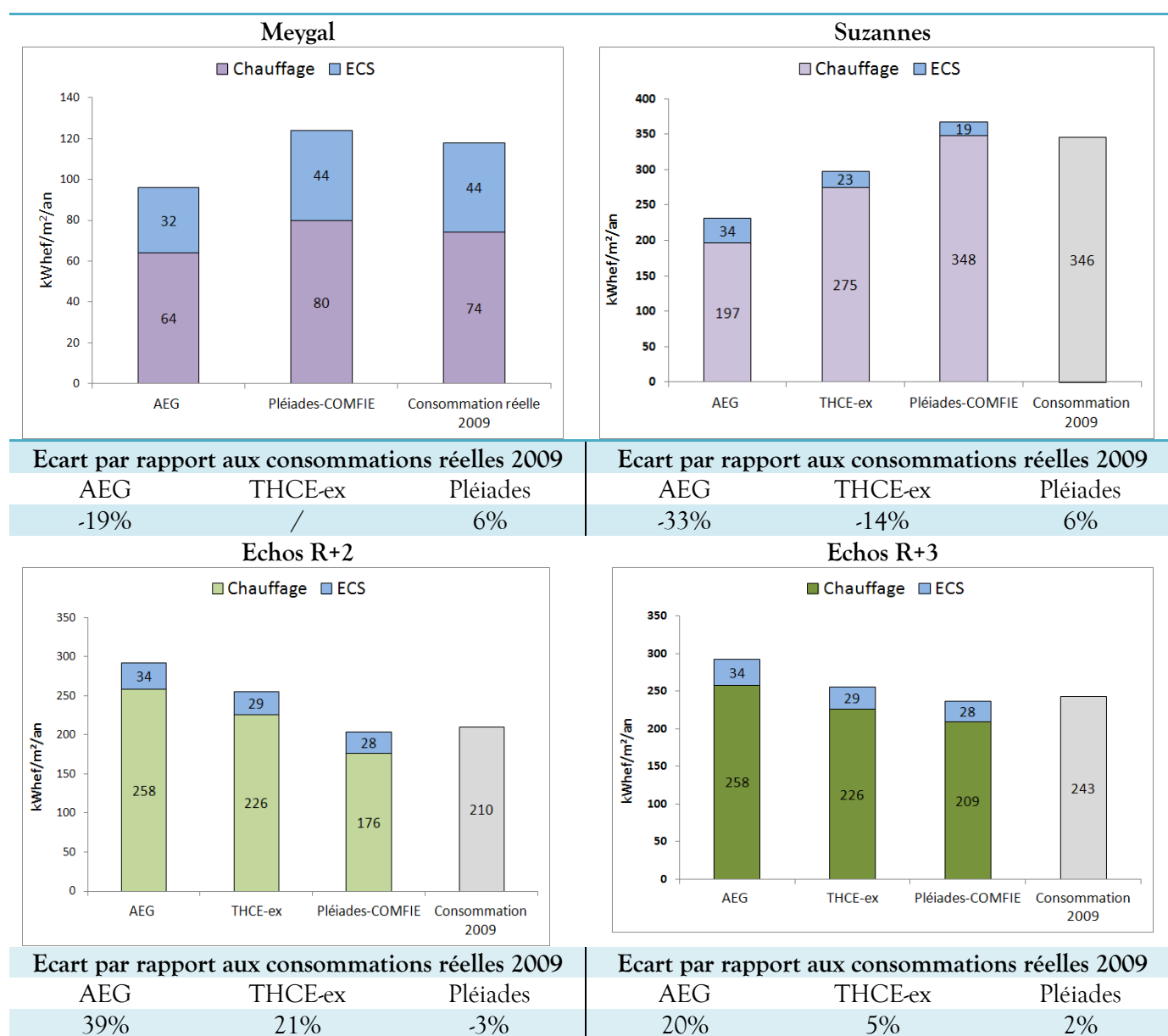
Figure 91 : Estimation des consommations de chauffage (gauche) et du confort (droite).

A la vue de ces résultats, plusieurs constats peuvent être dressés. Le bâtiment des Suzannes constitue le bâti le plus consommateur en terme d'énergie primaire suivi par la tour du Meygal et les logements des Echos. La différence de consommation entre les bâtiments des Echos R+2 et R+3, alors même que leur caractéristiques sont identiques, est imputable à la différence de compacité⁵⁷ entre les deux types de bâti. En effet, les Echos R+3 étant l'équivalent de deux bâtiments R+2 auquel on aurait ajouté un étage, le volume chauffé comparé à la surface de déperditions (parois) est réduit de même que les consommations. La « médiocre » performance du bâtiment du Meygal est ici imputable à l'utilisation de l'énergie électrique et à l'utilisation du coefficient multiplicateur de 2,58 permettant d'obtenir une équivalence en énergie primaire (ici : 243 kWh_{ep}/m²/an). Or, cette unité de mesure reflète la performance du bâti couplée à celle du système de production de l'électricité. Un comptage en énergie finale ramène la valeur estimée au Meygal à 94 kWh_{ef}/m²/an permettant ainsi de refléter la performance effective de l'habitat. Nous parlons ici de performance « effective » et non plus théorique comme ce fut le cas pour les résultats des AEG et calculs réglementaires (THCE-ex). De fait, la normalisation des hypothèses

⁵⁷ La compacité est estimée par la formule suivante : $C=V/S$ où V représente le volume du bâtiment et S la surface de ses parois extérieures (Murs, plancher haut et plancher bas).

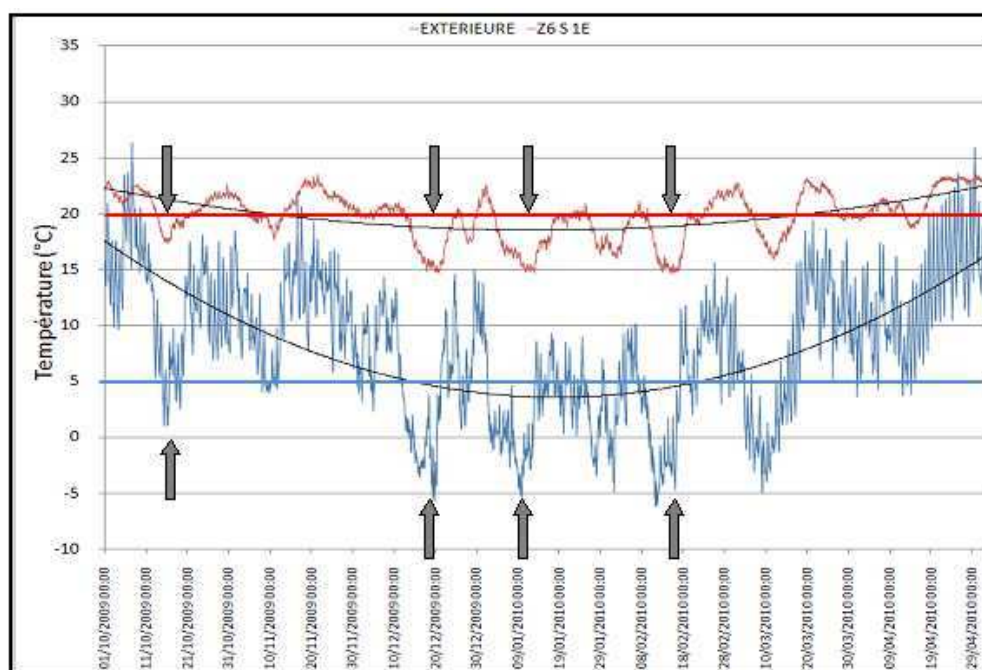
(température de 19°C, occupation des logements optimale (1 personnes par T1, 2 par T2, 3 par T3 etc.) tend à mésestimer la consommation des bâtiments et à ne fournir qu'une approximation de la réalité (Tableau 64). Les différents modèles estimant la consommation des bâtis sont ici couplés aux consommations d'énergie pour l'eau chaude sanitaire. De fait, et ce principalement à Firminy, l'énergie gaz regroupe ces deux postes et ne permet pas une différenciation par usage. Au Meygal, les modèles sont comparés aux consommations réelles pour le chauffage collectif et ne prennent donc pas en compte les consommations individuelles des chauffages d'appoint. Les consommations réelles des bâtiments sont ici issues des bases de données du bailleur social pour les logements du Meygal alors qu'elles sont estimées à partir des factures des ménages pour les logements de Firminy, rendant ces dernières, bien moins précises.

Tableau 64 : Comparaison des résultats des simulations (AEG, THCE-ex, Pléiades).



Ainsi, la comparaison montre que les modèles issus des AEG sont les « moins » efficaces pour anticiper les consommations des bâtiments (Ecart avec les consommations réelles en énergie finale de 19% à 39%) suivi des calculs réglementaires (écart entre 5 et 21%). A l'inverse, les simulations thermiques dynamiques, certes plus coûteuses en temps d'étude, permettent des estimations assez précises⁵⁸ et en phase avec les mesures effectuées sur le terrain (écart de 2 à 6%). De par cette comparaison, nous retrouvons ici l'un des freins évoqués dans le chapitre précédent à savoir l'incapacité des outils actuels à estimer la performance réelle du bâti au regard du mode d'habiter des locataires et par conséquent à garantir l'atteinte des objectifs, dont le facteur 4. En couplant les résultats des consommations d'énergie finale des bâtis, avec le taux d'inconfort estimé, nous observons des résultats conformes aux perceptions des locataires relevées durant les entretiens pour les logements des Echos et des Suzannes. En revanche les simulations effectuées sur les logements du Meygal montrent un confort supposé satisfaire plus de 90% du temps, soit le taux le plus élevé des bâtiments et ce, alors même que les locataires expriment leur insatisfaction. Deux raisons peuvent expliquer cette contradiction. Tout d'abord, le modèle de confort adaptatif ne prenant pas en compte l'humidité relative, les résultats obtenus surestiment le confort réel des logements. La deuxième raison quant à elle est directement liée au scénario de température et donc au comportement des habitants. De fait, les simulations effectuées émettent l'hypothèse d'une température de consigne équivalente aux valeurs de terrain (soit 22°C) quelque soit le logement. Cette hypothèse subodore l'utilisation du chauffage d'appoint par les locataires comme ce fut le cas dans les logements équipés de capteurs. De fait, la consigne du chauffage collectif est limitée à 20°C et ne permet donc pas d'atteindre les valeurs mesurée. Or, durant les enquêtes, 40% des locataires déclarent ne pas utiliser l'appoint des radiants et convecteurs (Ce pourcentage montant à plus de 68% pour les personnes voyant dans le chauffage collectif un moyen de chauffer totalement leur logement). De plus, le système collectif de par son action chronoproportionnelle et son dimensionnement est limité en puissance et en temps de fonctionnement. Ainsi, le système n'est actif au maximum que 8h par jour (22h à 6h) et n'a la capacité de fournir les 20°C demandés qu'à condition que la température extérieure soit supérieure à 5°C (delta de 15) (Figure 92).

⁵⁸ Les simulations utilisant les hypothèses de terrain permettent une réduction sensible des écarts entre consommations réelles et simulées. Cependant, devant la sensibilité des hypothèses utilisées, les limites du modèle, et du logiciel, le terme effectif employé ne sert ici qu'à montrer cette similitude et non à conclure à une parfaite corrélation.



(Les flèches montrent qu'en dessous de 5°C, le chauffage collectif ne permet plus l'atteinte la température de consigne).

Figure 92 : Température intérieure en fonction de la température extérieure (logement au premier étage).

En prenant en considération ces limites, une nouvelle simulation fixant la consigne de température à 20°C et ne prenant en compte que le système de chauffage collectif réduit les résultats obtenus sur le confort des logements de façon drastique (Figure 93). Sous cette nouvelle configuration, le pourcentage de temps où le confort est estimé satisfaisant atteint 75% et présente des écarts entre le taux minimum et maximum de 16%.

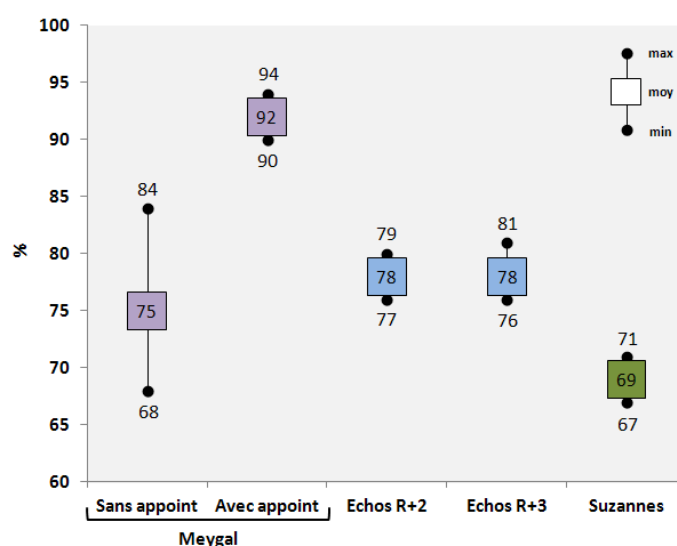


Figure 93 : Estimation du taux de confort incluant les appoints de chauffage au Meygal

6. Enquêtes, mesures et simulations : mutualisation des données.

Suite aux simulations, campagnes de mesures et enquêtes réalisées auprès des locataires de Firminy (Echos + Suzannes) et de la tour du Meygal, quelques grandes tendances peuvent être relevées montrant, malgré une population « similaire », de grandes diversités entre les sites étudiés. En effet, en se basant sur les caractéristiques d'âge, d'ancienneté ainsi que sur le taux de population active, nous observons une relative similitude entre les habitants et ce quelque soit leur lieu d'habitation (Firminy ou Meygal). Ainsi, et dans la limite des informations recueillies, non pouvons poser l'hypothèse qu'en l'absence de différences entre les habitants de chaque site, l'appréciation du bâti, des travaux ou encore du confort ressenti sont majoritairement imputables aux caractéristiques des bâtiments et des systèmes (isolation, surfaces vitrées, chauffage, ...). En partant de cette hypothèse, l'analyse de données essentielles des enquêtes ainsi que les résultats des mesures étudiées au travers d'une AFCM aboutit aux constats suivants (Figure 94, Annexe 17).

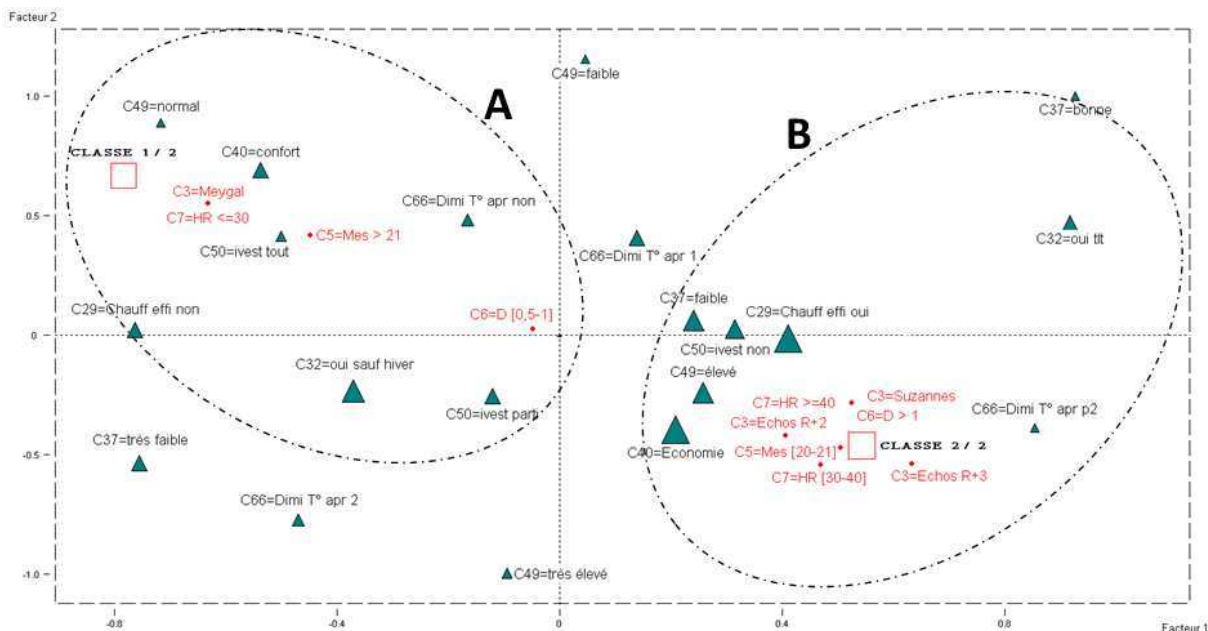


Figure 94 : AFCM regroupant les données des questionnaires et les données des mesures.

Le bâtiment du Meygal (groupe A), de par sa structure et ses matériaux, constitue le bâtiment le plus performant ($94 \text{ kWh}_{\text{ef}}/\text{m}^2/\text{an}$). Pour autant et malgré cette « faible » consommation en énergie finale, les logements sont considérés comme inconfortables (26,47% dans la classe contre « 12% en moyenne ; valeur test 3,06) par les locataires. Si la superficie des parois vitrées ainsi qu'une humidité relative inférieure à la norme recommandée permettent en partie d'expliquer cette sensation, la perception du système de chauffage collectif semble être la cause principale de ce mécontentement. En effet, pour près de la moitié des enquêtés, devant permettre de chauffer totalement les logements, le système de chauffage par le sol est jugé inefficace et ce alors même

que son coût de revient apparaît normal voire faible (52,94% dans la classe contre «34,94% en moyenne ; valeur test 2,63). Si le fonctionnement de chauffage d'appoint permet à certains locataires d'améliorer leur confort en atteignant voire dépassant les températures idéales exprimées, sa non-utilisation engendre une insatisfaction importante. Pour ces raisons, les locataires du Meygal désirent une amélioration de leur niveau de confort (61,76% dans la classe contre 32,53% en moyenne ; valeur test 4,5) et seraient plus enclins à réinvestir l'économie de charge engendrée par les travaux qu'à réduire la température de leur logement.

Les locataires des logements de Firminy (groupe B représentant en majorité les Echos du fait du faible poids des logements des Suzannes (7 individus contre 54)) expriment quant à eux une vision opposée à celle précédemment décrite. De fait, l'AFCM montre que plus que tout autre, le confort dans ces logements est perçu comme adéquat et ce quelle que soit la saison. L'efficacité du système de chauffage et des températures de consigne proches des températures idéales et mesurées (20°C) renforcent cette impression. Le confort est ici corrélé à l'efficacité du chauffage, (77,55% dans la classe contre 65,06% en moyenne ; valeur test 2,63) aux conditions intérieures mesurées (humidité relative + débit de ventilation) de même qu'aux simulations effectuées. Pour autant, le coût du chauffage est jugé très élevé (30,61% dans la classe contre 20,48% en moyenne ; valeur test 2,58) et par conséquent, les locataires des Echos voient dans le projet de rénovation un moyen de réduire leur charge financière (83,67% dans la classe contre 65,05% en moyenne ; valeur test 4,06). De ce fait, le report des économies du à l'amélioration énergétique du bâti semble plus difficile pour ces derniers. En revanche, une réduction de la température moyenne des logements reste envisageable par la quasi-totalité des locataires.

Les dimensions de confort et d'économie ressortent comme deux éléments indissociables pour les locataires. Les habitants privés d'une de ces deux dimensions tendent au travers du projet de rénovation de combler ce manque (amélioration du confort, réduction des charges). Il est également intéressant de constater que la notion « d'efficacité d'un système de chauffage », pour les locataires, fait plus référence au confort que permet ce système qu'à son rendement énergétique. De plus, l'efficacité perçue des systèmes et du bâti influence les efforts consentis vers plus de sobriété et par conséquent les comportements des locataires. Ces mêmes comportements qui alors, par voie de rétroaction, tendent à modifier la performance (consommation d'énergie) réelle des logements (Figure 95).

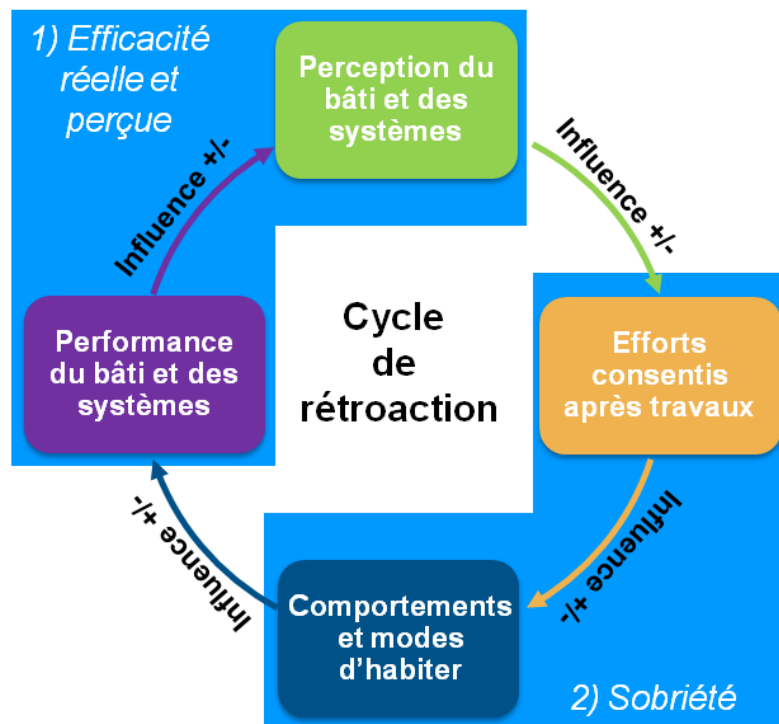


Figure 95 : Cycle de rétroaction : entre performance, efforts consentis, comportements et modes d'habiter.

7. L'influence des comportements : Quelles conséquences sur la performance du bâti.

L'objectif premier d'un logement est d'accueillir des habitants. Si la performance d'un bâtiment, et donc des logements, peut être améliorée par la mise en place de systèmes ou techniques plus performants, les consommations d'énergie restent largement assujetties à l'utilisation que l'on fait du bâti. Cette partie se propose d'étudier l'influence de trois paramètres sur les consommations de chauffage des sites étudiés. Pour ce faire, par l'intermédiaire des modèles de simulations thermiques dynamiques issus du logiciel Pléiades+COMFIE 3.1.10, trois variables dites d'utilisation, à savoir la température intérieure, le taux d'occupation et l'occultation des ouvrants vitrés seront testées. L'humidité relative ainsi que le débit de ventilation ne seront pas développés, la première variable n'étant pas prise en compte par le logiciel et la seconde étant bien plus imputable au système qu'à l'occupant (exception faite de leur obturation par le locataire). En revanche, le taux d'occupation est directement lié à la décohabitation des ménages, phénomène marqué à Firminy comme au Meygal. Enfin la fermeture des volets est régie quotidiennement par les locataires.

Les modèles retenus pour tester ces variables sont de deux types : les modèles représentant les bâtis dans leur état initial (avant rénovation) et les modèles simulant les bâtiments rénovés (Figure 96). Les caractéristiques détaillées des bâtiments rénovés sont données en annexe 12_b à 15_b.

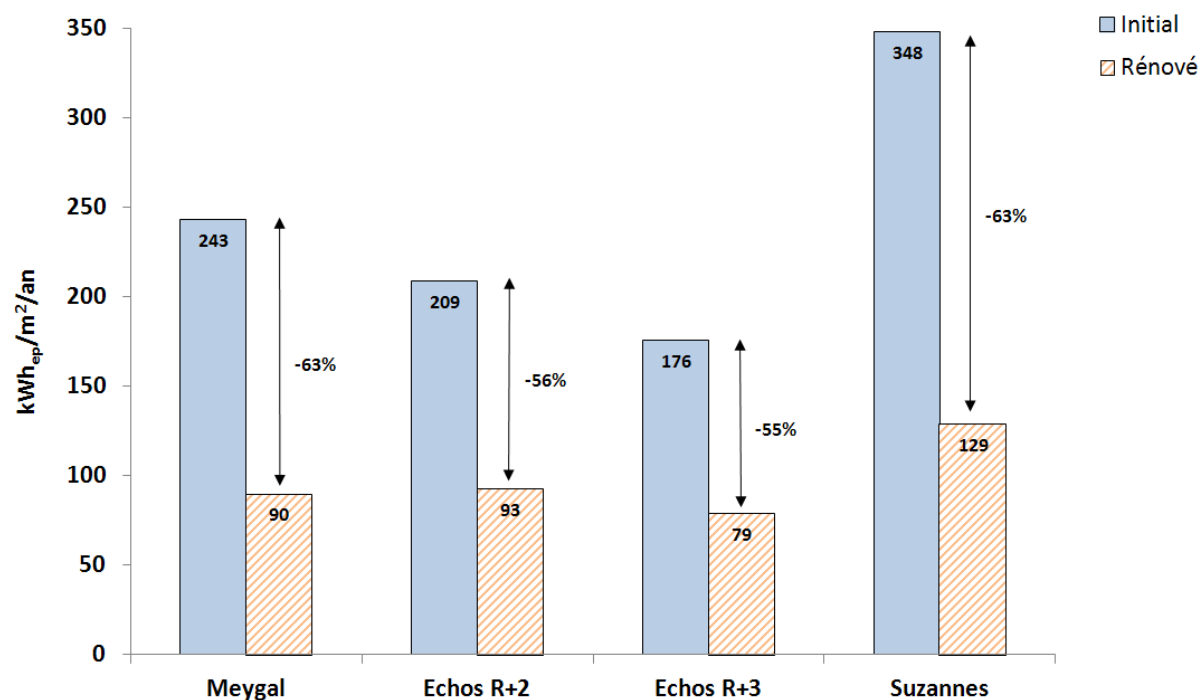


Figure 96 : Estimation des consommations d'énergie primaire pour le chauffage avant et après rénovations.

Ainsi, pour chaque variable testée seront présentées les variations de consommations d'énergie de chauffage pour les logements du Meygal, des Echos et des Suzannes. Par la suite, un scénario d'utilisation optimale (se rapprochant des scénarios réglementaires) sera comparé à un scénario dit dégradé afin d'évaluer l'impact d'une évolution des comportements des occupants vers plus ou moins de sobriété.

7.1. La température intérieure.

La température des logements, source de confort et contributeur direct aux consommations d'énergie de par l'utilisation du système de chauffage qu'elle implique, est un élément prédominant et très souvent abordée dans le cadre de campagnes de sensibilisation ou pour caractériser la sobriété des utilisateurs. Ainsi, pour l'étude de l'influence de la température sur les bâtiments, nous choisissons de faire varier la température des logements entre la température réglementaire (19°C) et celle maximum mesurée sur le terrain (22°C). Les résultats obtenus par bâtiment et état (initial et rénové) sont les suivants (Tableau 65 et Tableau 66).

Tableau 65 : Influence d'une augmentation de la température de consigne sur la consommation d'énergie primaire pour le poste de chauffage des bâtiments (état initial).

Température de consigne	T°= 19°C	T°=20°C ¹	T°=21°C	T°=22°C ²
Meygal état initial	/	+14%	+27%	+41%
Echos R+2 état initial	/	+12%	+23%	+35%
Echos R+3 état initial	/	+11%	+23%	+34%
Suzannes état initial	/	+10%	+20%	+30%
(Température mesurée et surconsommation associée aux Echos ¹ , aux Suzannes ² et au Meygal ²)				

Tableau 66 : Influence d'une augmentation de la température de consigne sur la consommation d'énergie primaire pour le poste de chauffage des bâtiments (état rénové).

Température de consigne	T°=19°C	T°=20°C ¹	T°=21°C	T°=22°C ²
Meygal état rénové	/	+15%	+33%	+51%
Echos R+2 état rénové	/	+14%	+27%	+41%
Echos R+3 état rénové	/	+15%	+30%	+45%
Suzannes état rénové	/	+11%	+22%	+33%
(Température mesurée et surconsommation associée aux Echos ¹ , aux Suzannes ² et au Meygal ²)				

L'augmentation de la température dans les logements, au-delà des 19°C réglementaires entraîne une augmentation des consommations d'énergie primaire allant de 11 à 15% en moyenne par degré supplémentaire dans les bâtiments rénovés et de 10 à 14% avant rénovation. Cette augmentation étant bien supérieure à celle communiquée par l'ADEME, à savoir 7% par degré supplémentaire [ADEME, 2011].

Ainsi, une sur-consommation de 30% à 41% avant rénovation et de 33 à 51% après rénovation est observable en moyenne entre la température réglementaire de 19°C et la température maximale de 22°C (La température de 22°C ayant été relevée au Meygal et aux Suzannes). Réduire la température de consigne des logements reste cependant difficile du fait de la disparité dans les notions de bien-être et des sensations d'inconfort qu'il est possible de repérer auprès des locataires. Si la température de 19°C peut être rejetée par certains occupants actuellement, le projet de rénovation pourrait être un élément déclencheur vers plus de sobriété. De fait, et comme nous l'évoquions précédemment, 68% des occupants du Meygal et 52% des occupants de Firminy (Echos+Suzannes) sont hostiles à une baisse des températures avant rénovation du fait de

l'inconfort ressenti en hiver. Cependant, après rénovation, 54% des locataires du Meygal et plus de 70% de Firminy seraient prêts à envisager une baisse de température à condition que l'amélioration des bâtiments soit avérée.

7.2. L'occupation des logements.

La surface d'un logement lors de la construction des bâtiments est définie par rapport au nombre d'habitants pour lequel il est destiné. Il est généralement considéré qu'en moyenne les logements de type 1 sont occupés par 1 personne, 2 pour un logement de type 2, 3 pour un logement de type 3, etc. L'INSEE, quant à lui, définit un indice de peuplement. « L'indice de peuplement, dit « norme INSEE », caractérise le degré d'occupation du logement, par comparaison entre le nombre de pièces qu'il comporte avec un nombre de pièces considéré comme nécessaire au ménage. Cette norme, arrêtée en 1968 en accord avec le ministère en charge de l'équipement, dépend de la taille du ménage, ainsi que de l'âge et de la situation familiale de ses membres. Elle attribue à chaque ménage :

- une pièce de séjour pour le ménage ;
- une pièce pour chaque couple ;
- une pièce pour les célibataires de 19 ans et plus ;
- et, pour les célibataires de moins de 19 ans : une pièce pour deux enfants s'ils sont de même sexe ou s'ils ont moins de sept ans ; sinon, une pièce par enfant.

Un logement auquel il manque une pièce est en situation de surpeuplement modéré. S'il manque deux pièces ou plus, il est en surpeuplement accentué. Notons ici que selon cette norme, les studios sont surpeuplés par construction. À l'inverse, on parle de sous-peuplement modéré si le logement compte une pièce de plus que la norme, de sous-peuplement prononcé s'il compte deux pièces de plus et de sous-peuplement très accentué s'il compte au moins trois pièces de plus » [INSEE, 1968].

La majorité des logements du Meygal et de Firminy présente un sous-peuplement modéré à prononcé du fait de la présence de nombreux couples âgés dans des logements et de la décohabitation des ménages. Or, la réduction du nombre de locataires peut impacter la consommation énergétique des logements. En effet, chaque être humain, par son activité physique et son métabolisme, libère de l'énergie (environ 80 W) dans le milieu extérieur. Ces apports dits internes au même titre que les apports de l'électroménager contribuent à chauffer le bâti. Modifier le nombre d'occupants peut donc potentiellement détériorer ou améliorer les consommations d'énergie pour le chauffage. Nous testerons donc ici une variation du nombre d'occupants d'un minimum 0,01 habitant/m² (cas le plus pessimiste d'une personne par logement

et ce quelque soit le type de logement) à 0,04 habitant par m² (soit une personne pour un T1, 2 pour un T2, etc.). L'occupation actuelle des logements étant en moyenne de 0,02 hab/m².

Tableau 67 : Influence d'une réduction du taux d'occupation des logements sur la consommation d'énergie primaire pour le poste de chauffage des bâtiments (état initial).

	Situation optimale		Situation actuelle	
Occupants par m ²	0,04	0,03	0,02	0,01
Meygal état initial	/	+3%	+7%	+9%
Echos R+2 état initial	/	+1%	+3%	+4%
Echos R+3 état initial	/	+2%	+3%	+5%
Suzannes état initial	/	+1%	+2%	+3%

Tableau 68 : Influence d'une réduction du taux d'occupation des logements sur la consommation d'énergie primaire pour le poste de chauffage des bâtiments (état rénové).

	Situation optimale		Situation actuelle	
Occupants par m ²	0,04	0,03	0,02	0,01
Meygal état rénové	/	+6%	+9%	+15%
Echos R+2 état rénové	/	+3%	+7%	+9%
Echos R+3 état rénové	/	+3%	+6%	+10%
Suzannes état rénové	/	+2%	+3%	+4%

Les Tableau 67 et Tableau 68 montrent qu'une variation du taux d'occupation des logements a une influence non négligeable sur la performance du bâti. Ainsi, une réduction de 0,01 (de 0,04 à 0,03 occupant/m²) entraîne en moyenne une augmentation des consommations en énergie primaire de près de 2 à 6% dans les bâtiments rénovés et de 1 à 3% dans les bâtiments non rénovés. Par conséquent, un bâtiment rénové entièrement composé de logements sous-peuplés (0,01 hab/m²) consommera en moyenne, selon les bâtis, de 4 à 15% de plus qu'un bâtiment dont le peuplement serait caractérisé d'optimal (0,04 hab/m²).

Réduire la surface habitée par personne peut donc être envisagé comme une action visant aux économies d'énergie de chauffage. Pour ce faire, deux pistes ont été envisagées avec le bailleur social :

La première piste envisage la création de zones mutualisées, à chaque étage, pouvant permettre une adaptation des logements aux évolutions familiales. Une proposition sur plan ainsi que le détail de cette dernière est abordée en annexe 18 et 19 pour les logements du Meygal et des Echos.

Enfin, devant le vieillissement de la population, et en fonction des désirs et contraintes des occupants, un relogement pourrait être envisagé afin de privilégier les logements de type 4 et 5 pour les familles avec enfants. Cette solution apparaît cependant impopulaire pour les locataires de l'ensemble des bâtiments qui, à plus de 60%, refuseraient un relogement (66% au Meygal, et 62% au Echos et Suzannes).

7.3. L'occultation des ouvrants vitrés.

Les fenêtres, et plus généralement les menuiseries extérieures sont des points faibles de l'enveloppe. De fait, même un très bon double vitrage qu'il soit peu émissif ou non reste extrêmement déperditif par rapport à une paroi isolée. En effet, la conductance d'une fenêtre ($U_w = 1,37 \text{ W/m}^2\text{.K}$) reste trois à quatre fois plus faible qu'une paroi isolée par 10 cm de polystyrène ($U = 0,39 \text{ W/m}^2\text{.K}$). De plus, il est apparu dans les enquêtes une dépendance entre la fermeture des volets et l'âge des locataires (Khi-deux⁵⁹ = 0,028). Ainsi, les jeunes générations sont moins enclines à la fermeture de ces derniers (seuls 40% des moins de 39 ans ferment leurs volets contre plus de 70% des plus de 60 ans). Par conséquent, et bien que les menuiseries soient un vecteur d'apport passif par rayonnement solaire durant la journée, une augmentation de la résistance thermique de ces dernières permet de limiter les pertes durant la nuit. Afin de quantifier les gains possibles dus à l'occultation des fenêtres par des volets, nous modéliserons les logements selon deux hypothèses :

- une fermeture entre 22h et 6h des volets permettant une augmentation de la résistance thermique de $0,25 \text{ m}^2\text{.K/W}$.
- une absence d'occultation des ouvrants vitrés sur cette même période.

⁵⁹ Le Khi-deux correspond à la probabilité que les deux variables soient indépendantes ou non.

Tableau 69 : Influence de l'occultation des ouvrants vitrés sur la consommation d'énergie primaire pour le poste de chauffage des bâtiments (état initial).

Résistance additionnelle ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)	0,25	0 (Absence de fermeture des volets)
Meygal état initial	/	+14%
Echos R+2 état initial	/	+5%
Echos R+3 état initial	/	+5%
Suzannes état initial	/	+3%

Tableau 70: Influence de l'occultation des ouvrants vitrés sur la consommation d'énergie primaire pour le poste de chauffage des bâtiments (état rénové).

Résistance additionnelle ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)	0,25	0 (Absence de fermeture des volets)
Meygal état rénové	/	+4%
Echos R+2 état rénové	/	+ 12%
Echos R+3 état rénové	/	+11%
Suzannes état rénové	/	+4%

L'occultation des ouvrants vitrés et l'ajout d'une résistance additionnelle de $0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ permettent ici une réduction de 3 à 14% des consommations primaires totales du bâtiment avant rénovation et de 4 à 12% après (Tableau 69 et Tableau 70). L'influence de l'occultation des ouvrants vitrés est fortement dépendante de la surface de vitrage ainsi que de la qualité des menuiseries (de même que la différence de conductance entre les parois opaques et vitrées). Cependant, afin de réduire les pertes thermiques par les ouvrants vitrés, une sensibilisation des occupants à une meilleure gestion des ouvrants pourrait s'avérer fructueuse.

7.4. Le scénario optimal Vs scénario dégradé.

Si l'ensemble des paramètres testés montre individuellement des conséquences plus ou moins importantes sur la consommation d'énergie primaire, et donc la performance énergétique du bâti, leur cumul entraîne une surconsommation importante. Nous comparons ici deux scénarios, l'un dit optimal l'autre dégradé.

Le scénario optimal : Ce scénario simule le comportement du bâtiment rénové dans des conditions d'utilisation dites « optimales ». Les conditions optimales sont basées sur les hypothèses

suivantes et sont pour parties corrélées à celles utilisées dans les calculs réglementaires :

- Température interne du bâtiment : 19°C en moyenne journalière sur les mois de chauffe (Décret n° 2000-613 du 3 juillet 2000 art. 5 Journal Officiel du 5 juillet 2000).
- Occupation normale des logements : une personne pour un T1, 2 par T2, 3 par T3, etc.
- Occultation des ouvrants vitrés : 100% de 22h à 6h en hiver.

Dans ce scénario, le terme optimal indique implicitement le niveau minimum pouvant être atteint en tenant compte des caractéristiques du bâti. Ainsi, les consommations d'énergie seront dans ce scénario imputables uniquement à la structure.

Le scénario dégradé : Ce scénario simule le comportement du bâtiment rénové dans des conditions d'utilisation dégradées pouvant être assimilées à un effet rebond. L'effet rebond, souvent négligé lors de l'évaluation des projets de rénovation est un phénomène où « l'augmentation de consommation est liée à la réduction des limites à l'utilisation d'une technologie, ces limites pouvant être monétaires, temporelles, sociales, physiques, liées à l'effort, au danger, à l'organisation » [SCHNEIDER, 2003]. Souvent écarté des discussions, ce phénomène influe sur la performance finale du bâtiment, en impactant jusqu'à 30% l'objectif souhaité [GREENING et al, 2000]. De façon très concrète, le scénario dégradé représente un bâtiment dont la gestion et l'utilisation entraînent une augmentation de la température de consigne aux alentours de 22°C, un sous peuplement des logements (0,01 habitants par m²) et une absence d'occultation des menuiseries vitrées la nuit.

La différence de consommation entre le scénario optimal et le scénario dégradé représentera la part maximum pouvant (en tenant compte de nos hypothèses) être imputable au comportement. Les résultats de ces deux scénarios ainsi que du scénario actuel d'utilisation des bâtiments sont présentés ci-après (Tableau 71 et Tableau 72) pour l'ensemble des sites d'étude.

Tableau 71 : Possible surconsommation (%) imputable à une mauvaise gestion du bâti par les locataires ou gestionnaires (bâtiments : état initial).

Scénario	Optimal	Actuel	Dégradé
Meygal état initial	/	+ 39%	+ 68%
Echos R+2 état initial	/	+ 15%	+ 44%
Echos R+3 état initial	/	+ 16%	+ 45%
Suzannes état initial	/	+ 35%	+ 37%

Tableau 72 : Possible surconsommation (%) imputable à une mauvaise gestion du bâti par les locataires ou gestionnaires (bâtiments : état rénové).

Scénario	Optimal	Actuel	Dégradé
Meygal état rénové	/	+ 55%	+ 82%
Echos R+2 état rénové	/	+ 21%	+ 53%
Echos R+3 état rénové	/	+ 15%	+ 67%
Suzannes état rénové	/	+ 41%	+ 43%

Une utilisation optimale du bâti selon les conditions définies permet en fonction des bâtiments une économie moyenne d'énergie primaire par rapport à la situation dégradée de 37% à 68% avant rénovation et de 43 à 82% après. Bien que le scénario dit « dégradé » puisse être considéré comme extrême, il montre l'influence des comportements des utilisateurs et de la gestion des systèmes par ces derniers. En effet, si l'on compare le scénario optimal au scénario actuel des bâtiments, on observe que le « mode d'habiter » des locataires entraîne une surconsommation de 16 à 39% avant rénovation et de 15 à 55% après rénovation (Figure 97).

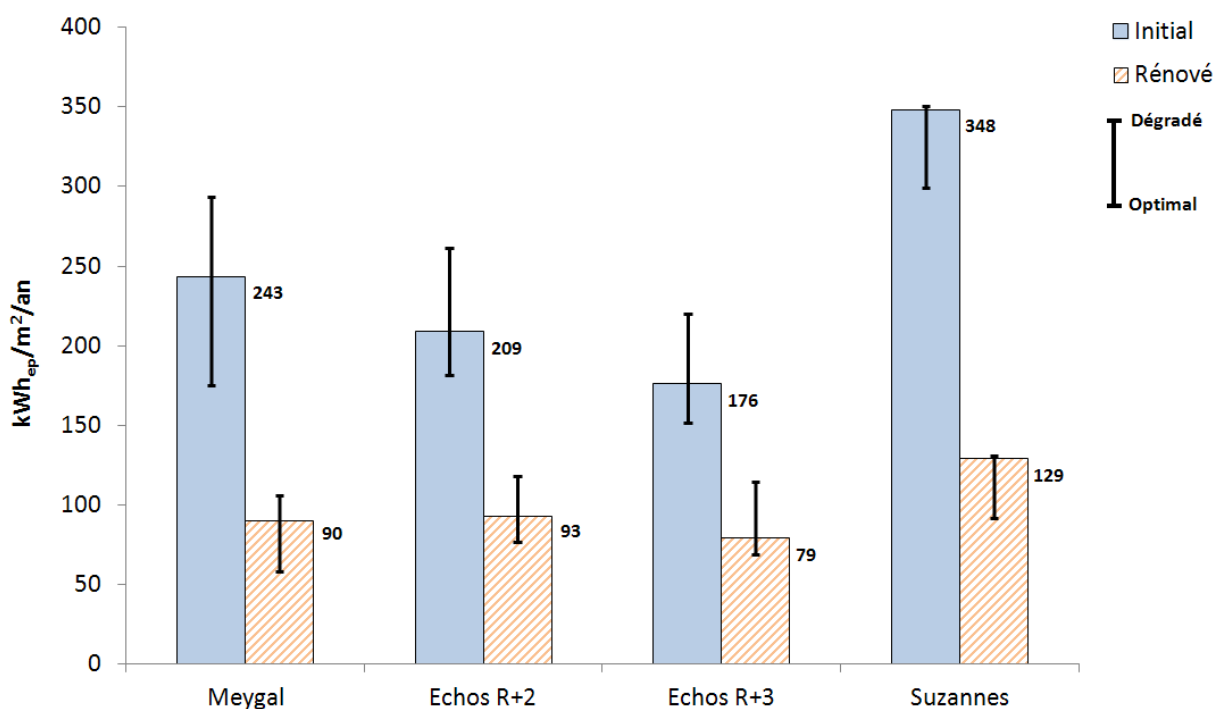


Figure 97 : Variation des consommations en énergie primaire pour le poste de chauffage avant et après rénovation en fonction du comportement des utilisateurs.

Conclusion : Usagers et performances

Les mesures effectuées sur le terrain, couplées aux simulations et enquêtes permettent de mieux appréhender le fonctionnement du bâtiment et les attentes des habitants. Les locataires interrogés, en majorité insatisfaits de leur logement, plébiscitent les travaux de rénovation. Les actions à envisager restent cependant variables selon le type de bâtiment étudié, la performance du bâti et selon les locataires, mais devraient, selon les habitants, viser quelque soit le site à une amélioration du confort ou une réduction des charges. Le confort dans les logements, majoritairement perçu comme lié à la température de chauffe apparait comme primordial et se dévoile comme un élément conditionnant la participation financière, et par conséquent, l'acceptation des travaux. En l'état actuel du bâti, des actions de sobriété visant à réduire la température dans les logements ne semblent pas acceptables. Pourtant, les travaux de rénovation sont porteurs d'une promesse de sobriété de la part des habitants qui, dans leur majorité, pourraient envisager une réduction de la température de consigne. Réduction de température d'autant plus forte que la perception du confort post-rénovation est élevée. La conditionnalité des travaux en tant qu'élément déclencheur d'un changement des comportements d'utilisation, confirme, au travers de cette recherche la hiérarchisation des étapes de sobriété et d'efficacité abordée dans le chapitre précédent, la sobriété des occupants pouvant de plus, par rétroaction, impacter la performance du bâti. Malgré tout, les promesses de réduction de la température apparaissent dans certains cas peu crédibles. Tout d'abord, le manque de connaissances des consignes de température, combiné à l'absence de corrélation entre les températures idéales et mesurées montre qu'une sensibilisation des locataires reste nécessaire afin de limiter les consommations d'énergie. Ces comportements contribuent de fait à augmenter les besoins du bâtiment. Les simulations réalisées montrent, au travers d'une modification des « variables d'utilisation », que selon l'utilisation des logements, les augmentations considérables des consommations peuvent atteindre plus 82%. Si ces impacts des comportements sur les consommations sont probants, ils restent cependant peu pris en compte actuellement. De fait, les simulations réalisées par les bureaux d'études se basent sur des données normées issues de méthodes réglementaires dont l'objectif ne consiste aucunement à estimer la performance effective du bâtiment habité, mais à définir ses caractéristiques techniques. Les performances proposées restent alors théoriques, souvent éloignées des consommations. Par conséquent, cette approche ne garantit aucunement l'atteinte effective des objectifs du facteur 4 par le secteur résidentiel français, à savoir : une réduction par 4 des émissions de GES et consommations d'énergie avant 2050.

Conclusion générale et perspectives.

« Je ne cherche pas à connaître les réponses, je cherche à comprendre les questions ». C'est sans doute influencé par cette citation de Confucius que ce travail de thèse, s'éloignant de son sujet initial, à portée évaluative, s'est plutôt attaché à interroger et étudier les limites, freins et questions posés par la transcription du facteur 4 dans le secteur du bâtiment. Car, par bien des aspects, si l'apport de réponses peut être séduisant, il conduit dans certains cas « à arrêter un processus où l'homme respire (...) à donner des certitudes qu'il ne s'agit alors que d'imposer d'une façon ou d'une autre » [AYMES, 2009]. Pour autant, nous ne suivrons pas jusqu'au bout ce « précepte » car dans cette partie, après avoir abordé au travers d'une synthèse les principaux fondements théoriques et apports de ce travail, nous nous aventurons à proposer, quelques éléments de réponses et perspectives.

➤ Éléments de synthèse : apports et limites.

Facteur 4. Revoici « prononcé », pour une des dernières fois, le terme récurrent de ce manuscrit, l'axe directeur nous ayant conduit au travers d'une approche interdisciplinaire, des problématiques énergétiques mondiales à l'étude des perceptions d'une population de locataires engagée dans un processus de rénovation de leur logement social. Reprenons alors de manière synthétique les principales étapes, fondements, apports et limites de ce travail.

C'est dans un contexte mondial marqué par la déplétion des ressources énergétiques et la prise de conscience grandissante des impacts anthropiques, notamment au travers des problématiques climatiques, qu'il faut replacer l'apparition du facteur 4. En effet, après plus de 150 ans de consommations effrénées, les limites d'un monde fini tendent à s'imposer aux yeux des sociétés humaines et à leur présenter les conséquences de leurs actions. Le premier pas vers une prise de conscience internationale visant à limiter les émissions de GES des pays industrialisés fut amorcé en 1992 à Rio de Janeiro par la convention cadre des Nations Unies. Repris de façon plus formelle au travers du protocole de Kyoto puis des conférences des parties qui s'en suivirent, ces engagements, et par leur intermédiaire les pays signataires, se sont alors « accordés à penser » qu'un objectif conduisant à limiter l'augmentation des températures à 2°C devait être envisagé. Cet objectif de long terme devant être atteint en 2050 s'est traduit en France sous le terme facteur 4. Facteur 4, car en prenant compte la part des flux français de GES (ou plus exactement de CO₂) l'effort à produire par la France doit correspondre à une division par 4 de ses émissions. Cette définition du début des années 2000, tranchant avec le concept initial visant deux fois plus de bien-être tout en consommant deux fois moins de ressources, et bien que représentant une réelle avancée, fut par la suite transposé au niveau sectoriel. Rendre pragmatique un objectif théorique

et macro-économique, tel fut l'objet de cette transposition notamment dans le secteur du bâtiment rendant alors le facteur 4 fractal.

Fractal par l'échelle mais aussi par ses objectifs. Car, afin de faciliter son appropriation par les acteurs de ce secteur, le facteur 4 appliqué aux questions climatiques fut décliné aux problématiques énergétiques. Ainsi, et principalement pour le parc de logements existant, le facteur 4 est abordé en tant que réduction de 75% des consommations en énergie primaire du parc résidentiel français. Si comme nous l'avons émis, ce transfert apparaît enclin à quelques suspicions quant à une réelle interopérabilité entre niveaux d'application, c'est principalement confronté à la complexité d'un système multi-acteurs que les possibilités d'actions nous ont paru limitées.

Proposer et mettre en application des actions en faveur des économies d'énergie, car c'est bien ici l'enjeu novateur du secteur du bâtiment, fut extrêmement porteur. De nombreux scénarii prônant en majorité une démarche visant à la sobriété, à l'efficacité puis à l'utilisation d'énergies renouvelables ont été développés. Ces grandes orientations proposées ont été couplées à un panel d'outils. Labels, certifications, solutions techniques, réglementations thermiques légitimées au travers de textes de loi ou par l'expérience de leur concepteur se sont alors attelés à affiner les directions et à proposer au niveau du bâtiment, en tant qu'objet matériel, les niveaux de performance « nécessaire ». L'ensemble de ces dispositifs ont alors contribué, de part leurs divergences plus ou moins prononcées, à créer un faisceau de chemins divers dans lequel plusieurs trajectoires vers le facteur 4 sont apparues. Cependant, si le potentiel de réduction de l'ensemble des solutions applicables est important, il n'en reste pas moins actuellement théorique et son application conditionnée par les évolutions initiées au sein d'un secteur pouvant être qualifié de complexe.

En effet, comme nous avons tenté de le représenter au travers du second chapitre, par bien des aspects, le bâtiment peut être appréhendé comme un système complexe. Dans ce système, éléments humains, matériels et immatériels se côtoient et interfèrent entre eux. Les acteurs du bâtiment, en tant qu'éléments humains occupent une place importante dans le processus (projet) qui conduira le système vers un état moins consommateur en énergie. Or, ces acteurs, de part leurs rationalités et paradigmes d'appartenance, impactent au même titre que les caractéristiques diverses et variées du parc de bâtiments, les capacités d'atteinte des objectifs de performance requis dans ce secteur.

C'est en considérant cela que notre question de recherche visant à définir **les freins et leviers à l'obtention des objectifs du facteur 4 dans le bâtiment** a été formulée. Pour y répondre, la méthodologie employée est fondée sur une démarche interdisciplinaire reposant sur deux

approches :

- Le retour d'expériences d'acteurs professionnels du bâtiment au travers d'entretiens, d'une analyse de forum, et de questionnaires internet ;
- Une recherche-action auprès d'un bailleur social ayant, entre autres, permis une enquête auprès des locataires de 3 sites faisant l'objet d'une rénovation.

Chacune de ces deux approches est appréhendée par une investigation en trois étapes exécutée de manière séquentielle ou en parallèle. Dans le cas des acteurs professionnels du bâtiment, des entretiens qualitatifs semi-directifs auprès de 20 acteurs ligériens constituent la première étape. Couplés à l'étude du forum participatif envirobat-méditerranée, les résultats obtenus nous ont alors permis d'identifier les perceptions du système bâtiment et de ses objectifs ainsi que les entraves et leviers à leur atteinte. Le panel de représentations établi, un questionnaire internet, destiné à un échantillon plus large d'acteurs (249 répondants), et contacté via un mailing direct ou par l'intermédiaire d'associations spécialisées, a été utilisé. Cette dernière étape nous a permis de nuancer les discours obtenus lors des entretiens et de tenter d'évaluer l'importance des freins et leviers identifiés.

Au travers de cette première approche, plusieurs enseignements ont été soulevés et peuvent être rappelés. Revenons tout d'abord sur la perception du système bâtiment par les acteurs interrogés. « Système complexe assujéti aux traditions et présentant des enjeux et objectifs variables ». Voilà qui de façon simplifiée pourrait retranscrire la vision dominante que nous avons perçue. « *Systèmes complexes* », de part la diversité des situations rencontrées mais aussi et surtout de par la multiplicité des acteurs à coordonner et de leurs liens entre eux. « *Traditionnel* », du fait d'un fonctionnement par séquençage d'ordres et d'actions entre les différents niveaux d'acteurs. Enfin, « *aux objectifs variables* », car si le facteur 4 semble constituer un enjeu à part entière, il n'est souvent envisagé que comme une étape supplémentaire dans le maintien des fonctions d'usage d'un bâtiment et reste fractal selon les aspects (climatiques ou énergétiques) qu'on lui associe.

Cette première analyse du système nous a alors conduit à identifier auprès de chaque acteur les dispositions entravantes et leviers d'actions pouvant permettre d'atteindre les objectifs du facteur 4 et d'appliquer les solutions préconisées. A la vue des résultats, les principales limites au facteur 4 pour l'ensemble du secteur du bâtiment semblent être liées à trois facteurs : le taux actuel de rénovation largement en deçà des objectifs préconisés (700.000 réhabilitations annuelles), l'effet rebond provoqué par une modification des comportements et enfin, la faible performance exigée et avérée des projets de rénovation. Ces trois points ne constituent cependant que la partie émergée de l'iceberg ou plutôt les conséquences directes d'un ensemble de

« dysfonctionnements » inter-reliés. C'est donc 24 limites au facteur 4 que nous avons regroupé en 4 catégories de freins : comportementaux, financiers, techniques et réglementaires. Les données quantitatives, relatives aux questionnaires internet, ont alors montré que les acteurs considèrent les freins financiers et comportementaux comme prédominants, reléguant les aspects réglementaires et techniques respectivement en 3^{ième} et 4^{ième} position. Cette perception des freins, si elle est relativement homogène au sein de la population d'interrogée, montre pourtant des différences selon les groupes d'acteurs. L'importance donnée à un frein est ainsi dépendante de l'acteur interrogé. Par exemple, la maîtrise d'ouvrage donne moins d'importance aux problématiques réglementaires au profit des aspects techniques alors même qu'un constat strictement opposé se dégage pour la maîtrise d'œuvre. Ceci amène alors à interroger la place de chaque acteur et son rôle en tant qu'élément du système bâtiment, car, si le manque de financement ou de réglementation apparaît limitant, les différents acteurs ne constituent-ils pas également des freins ? Cette interrogation nous a conduit à interroger les acteurs et à cartographier ces derniers selon 3 pôles (moteurs, limitants, neutres). Nous avons alors pu constater que la catégorisation d'un profil d'acteur selon ces pôles est fortement dépendante de la perception que l'interrogé a de l'acceptation des problématiques énergétiques et climatiques par les acteurs du système dans sa globalité. Ainsi, un acteur « convaincu » d'un objectif partagé et assimilé par la majorité semble alors plus enclin à percevoir les intervenants d'un projet comme moteurs.

Cette perception, en tant qu'élément moteur, montre cependant quelques différences selon les territoires d'origine des répondants. Acteurs ligériens, Rhônealpins (hors Loire) ou issus d'autres départements convergent ou divergent dans leurs proportions quant à leur perception des acteurs moteurs. Ces variations apparaissent dépendantes des relations qu'entretiennent les acteurs d'un même territoire, et donc des expériences qui se sont accumulées sur ce dernier. C'est en considérant ce point qu'une des limites à notre travail se dessine. En effet, il semble intéressant, pour comprendre les variantes dans les représentations, d'interroger la manière dont ces dernières s'élaborent et se forment chez un acteur au travers de son expérience concrète, acquise au sein même d'un milieu socio-culturel et professionnel particulier. Si l'utilisation des données quantitatives par l'intermédiaire d'un questionnaire internet rend difficile cette approche, il semble qu'elle permette toutefois une représentation des perceptions de chaque acteur en tant qu'élément moteur, de même que l'importance accordée aux différentes catégories de freins ainsi qu'à leurs interrelations.

En effet, les freins sont apparus inter-reliés les uns aux autres. Cet enchevêtrement impose alors une conclusion. Vouloir résoudre indépendamment chaque difficulté au travers d'une adaptation des modes de faire et de penser semble illusoire. Le système nécessite avant tout une refonte

totale de son fonctionnement pour la mise en œuvre de solutions concourantes.

Ce nouveau fonctionnement souhaitable est abordé lors de l'évocation des actions et leviers à mettre en place. Définis par leur capacité à modifier l'état du système afin de le faire cheminer d'une situation initiale vers un état prospectif conforme à l'objectif du facteur 4, les leviers identifiés montrent une capacité à interagir sur plusieurs catégories de freins.

Le premier levier s'axe sur une sensibilisation des acteurs du bâtiment au travers de campagnes d'informations ou scénarii prospectifs permettant de lever les réticences au changement et de montrer la faisabilité de ce dernier. Visant à une compréhension commune et partagée des objectifs à atteindre, il propose ainsi de rapprocher les acteurs, qui abandonnant certains intérêts ou prérogatives stériles, sont invités à recréer d'avantage de dialogue et de coordination. Pour atteindre cet objectif, l'adaptation des raisonnements est un élément nécessaire, et le format de transmission un vecteur à développer. C'est à l'aune de cette réflexion que l'ordonnancement des étapes de sobriété et d'efficacité ainsi que leur contenu est réinterrogé. Ainsi, la sobriété de la conception est définie comme une étape préalable à l'efficacité et doit être intégrée par la maîtrise d'œuvre et d'ouvrage. Ces deux points constituent alors une étape initiale à la sobriété d'utilisation axée sur l'habitant. Développer la sobriété et l'efficacité lors de la conception nécessite cependant d'élargir les compétences et connaissances du réseau d'acteurs intervenant sur un projet. Former les acteurs sur les nouvelles façons de rénover ou de construire s'articule alors selon deux axes. Le premier axe vise à diffuser les technologies et techniques innovantes pour leur mise en œuvre rapide. Le second axe relève quant à lui de l'efficacité de cette mise en œuvre et donc du soin à apporter à la prestation réalisée.

Ces premiers leviers apportent majoritairement une solution aux freins comportementaux et techniques mais restent limités quant à leur capacité à dépasser les clivages des aspects financiers et réglementaires. C'est dans ce contexte qu'une réorientation des financements est abordée. Ciblées sur l'efficacité du bâti avant celui des systèmes (énergies renouvelables incluses), les aides financières, teintées d'écoconditionnalité, tendent à relever les niveaux de performance ciblés tout en contribuant à ne pas tuer le gisement. Malgré tout, les acteurs ne voient en elles qu'une solution provisoire et devant devenir l'exception. Pour ne pas mettre « sous perfusion » le secteur du bâtiment, car tel est bien le risque d'aides « abusives », une réflexion sur une réduction du coût d'investissement au travers d'une généralisation des rénovations thermiques, un phasage ou encore la contractualisation des travaux est exprimée. PPP⁶⁰ et CPE⁶¹ sont parfois mentionnés afin de démontrer l'opportunité d'un investissement initial engagé par le prestataire et non plus par la

⁶⁰ Partenariat Public Privé

⁶¹ Contrat de Performance Énergétique

maîtrise d'ouvrage, ou encore la notion de BBC⁶² compatible permettant un étalement des coûts et des travaux. Pourtant, et quelle que soit la pertinence de ces leviers, leur caractère volontaire impacte leur portée d'action. Ainsi, et même si le volontariat constitue l'un des premier pas vers le déploiement des leviers précédemment évoqués, le passage obligé vers un objectif réglementé est présenté. Véritable « bâton succédant à la carotte financière », la contrainte réglementaire se tourne vers deux objectifs. Le premier consiste à rendre obligatoire les travaux de rénovation dans le parc résidentiel. Le second, à accroître les exigences de performance à travers la promulgation d'une réglementation thermique dans l'existant, compatible avec les objectifs du facteur 4. C'est dans la continuité de ces propositions que les méthodologies d'évaluation actuelles des bâtiments et de leur performance effective sont remises en cause. Car, si accentuer les niveaux de performance apparaît indispensable pour les acteurs interrogés, leur réelle application sur le terrain doit être vérifiée. Or, vérifier la performance d'un bâtiment dans sa globalité nécessite de prendre en compte les habitants qui, de part leur comportements, conditionnent les consommations effectives du bâti et donc la réelle atteinte d'un objectif comme le facteur 4. C'est alors en partant de ce constat des acteurs professionnels que la seconde démarche d'investigation mise en place dans ce travail a pris forme.

Tout comme les démarches effectuées auprès des acteurs professionnels, l'approche développée pour l'étude de projets de rénovation de l'entreprise sociale pour l'habitat Cité Nouvelle s'est déroulée en trois temps. La première étape a consisté en une série d'entretiens basée sur un questionnaire directif menée auprès des locataires de 3 sites (114 entretiens) dans le but d'appréhender l'utilisation du bâti ainsi que l'influence de la perception des habitants sur l'acceptation des travaux et le développement de comportements plus sobres. La seconde et troisième étape, axées sur des campagnes de mesures et des simulations thermiques dynamiques, sont ensuite venues corrélérer au travers de données objectives, les résultats subjectifs des questionnaires menés.

Les locataires ne peuvent être considérés comme une variable d'ajustement dans un projet de rénovation. Pouvant augmenter par leur comportement de près de 80% la consommation attendue en chauffage, il ressort de notre travail que la perception initiale d'un bâti impacte de façon prégnante les efforts consentis vers plus de sobriété. Demander aux habitants d'être sobres en dehors d'une démarche de rénovation semble « inconcevable » pour des raisons de confort ou encore de par le coût jugé prohibitif du système de chauffage. Car, plus que tout autre, le système de chauffage semble conditionner par de nombreux aspects le ressenti global du bâtiment. Le logement du Meygal, comparé à ceux des Echos, en est un parfait exemple et montre que même si *« le droit au confort, est avant tout la constitution d'un confort minimum et garanti par la technique »*

⁶² Bâtiment Basse Consommation

[GOULD, 2004], un bâtiment mieux isolé et moins consommateur ne peut prétendre seul à la sobriété de ses occupants. En effet, la compréhension de ces techniques, leur fonctionnement et leur régulation par le locataire apparaissent comme primordiaux et impactent la démarche adaptative de ces derniers, c'est-à-dire leur capacité d'agir en fonction de leurs besoins et perceptions de l'environnement interne de leur logement [BAKER et al, 1995]. Ainsi, les locataires des Echos, habitant dans un bâtiment faiblement isolé mais percevant le chauffage comme efficace estime leur confort comme acceptable et applique une température de consigne bien inférieure à celle moyenne mesurée au Meygal. Par ce comportement, la consommation d'énergie est limitée sachant que chaque degré supplémentaire au-delà de la valeur réglementaire de 19°C peut potentiellement accroître de 10 à 14% l'énergie consommé pour le chauffage.

L'ensemble des résultats récapitulés ici, que ce soit au travers des discours d'acteurs professionnels ou du retour d'occupants de logements sociaux, montre l'extrême diversité des questions à prendre en compte et conforte l'idée d'un système complexe conditionnant les objectifs du facteur 4 en France. En France ! Voici peut-être ici un raccourci un peu trop hâtif. En effet, peut-on considérer que l'ensemble des freins et leviers relevés majoritairement à l'échelle du territoire ligérien sont dans un premier temps représentatif de la Loire, et dans un second temps transposable à l'échelle nationale ?

Pour répondre à cette dernière question, il faut remettre en perspective les résultats obtenus au travers des limites inhérentes à notre travail. Pour cela, arrêtons-nous sur la représentativité des acteurs interrogés. Comme nous l'avons déjà souligné dans le corps du chapitre 3, le nombre d'acteurs enquêtés, que ce soit au travers des questionnaires internet ou des entretiens, ne peuvent prétendre ni à une exhaustivité ni même à une représentativité de l'ensemble des acteurs d'un secteur aussi vaste que celui du bâtiment et ce, même sur un territoire réduit comme la Loire. Trois raisons peuvent être invoquées :

- La première raison est d'ordre numérique. Les entretiens directifs n'ont pu toucher qu'une vingtaine d'acteurs ligériens du bâtiment. Si leur implication ou leur statut au sein de leur organisme d'appartenance (Responsable patrimoine, Membre de la FFB, Acteur d'une agence locale de l'énergie, ...) en font des acteurs incontournables sur le territoire, ils ne représentent qu'une infime partie du réseau d'acteurs présent sur la Loire. Ce premier point reste vrai pour les questionnaires internet. En effet, et même si le nombre de répondants permet un traitement statistique, les résultats obtenus sont à relativiser au regard du profil des acteurs ayant répondu.
- La diversité des acteurs doit de fait être mise en exergue et constitue une seconde limite. Les profils de répondants regroupent majoritairement des acteurs de la maîtrise

d'ouvrage et d'œuvre ainsi que des collectivités ou des associations. La part d'industriels, entreprises du second et du gros œuvre, etc. est minoritaire. L'importance des freins ou même l'existence d'un frein peut donc être dans une certaine mesure remise en cause.

- Enfin, le dernier point à mentionner est la sensibilité ainsi que la connaissance des acteurs enquêtés. De fait, et même si cela reste subjectif, les acteurs interrogés ou ayant répondu aux questionnaires, du fait même de leurs réponses ou acceptation pour un entretien, montre un intérêt pour les thématiques abordées. Ainsi, l'échantillon interrogé reste plus proche du pionnier ou de l'innovateur que de l'acteur réticent au changement.

La question de la représentativité de l'échantillon sélectionné semble redondante lorsque l'on se penche sur notre démarche de recherche-action. De fait, les logements sélectionnés, s'ils sont typiques de Saint-Etienne Métropole, restent dans un sens particulier, du fait de leur caractère social. Les logements sociaux et les habitants qu'ils accueillent ne constituent donc qu'un fragment de la population ligérienne comme française.

Pour autant, et en tenant compte de ces limites, les résultats obtenus au travers des deux démarches développées dans ce travail nous semblent pertinents. De fait, certains freins et leviers abordés durant cette étude abondent dans le sens de travaux préalables menés dans le bâtiment et ce, à une échelle nationale comme internationale. Ainsi, le WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) dans son rapport «Efficacité énergétique dans le bâtiment : Fait et tendances » paru en 2007 souligne que les connaissances des acteurs montrent de très grandes lacunes, et qu'une transformation des comportements via la formation des acteurs professionnels du bâtiment apparaît indispensable [WBCSD, 2007]. En France, le Groupe de Travail « Innovation » du plan bâtiment Grenelle d'Octobre 2011 regroupant un panel d'experts de ce secteur indique qu'une obligation de vérification et de garantie de performance doit être instaurée et constitue un pré-requis indispensable à l'atteinte des objectifs [REINMANN et al, 2011]. A la vue de ces quelques données concordantes avec nos résultats, la validation des dispositions entravantes et leviers à l'échelle ligérienne et leur transposition à une échelle nationale semblent donc pouvoir être opérables moyennant deux considérations. Premièrement, des variations quant au type de freins, leur importance ou encore les acteurs considérés comme moteurs ou limitants seront à prendre en compte selon le niveau et le type de territoire étudié. Deuxièmement, la configuration du réseau d'acteurs et la prédominance de certains profils dans les projets considérés impacteront les opportunités d'application et la portée de certains leviers.

C'est en tenant compte de ces deux derniers points que des éléments de perspectives peuvent

être proposés et une question de recherche abordée

➤ **Proposition d'action et éléments de perspectives.**

Comme nous venons de l'évoquer, les caractéristiques spécifiques d'un territoire ainsi que les réseaux d'acteurs sur ce dernier vont conditionner la représentation des freins et l'application des leviers. La méthodologie développée, si elle permet d'appréhender certaines dispositions entravantes au sein d'un groupe d'acteurs, reste fortement marquée par les spécificités de l'échantillon interrogé. Ainsi plusieurs points d'amélioration peuvent être évoqués :

- Premièrement la faible représentation des acteurs du chantier, que se soit les entreprises du gros œuvre, du second œuvre ou les artisans dans leur ensemble constitue un point primordial à aborder et ce d'autant plus que plusieurs freins et leviers peuvent être rattachés à ces profils d'acteurs. Une enquête spécifique à ces derniers pourrait être envisagée afin de recueillir leur propre perception des dispositions entravantes ainsi que du rôle qu'ils seraient amenés à jouer dans la mise en place des solutions (ou plus généralement pour la réussite du facteur 4). Cette « investigation » auprès de quelques représentants des entreprises artisanales du bâtiment permettrait dans un premier temps, au travers d'entretiens individuels, de définir un panel de représentations. Dans un second temps, un questionnaire informatisé suivant les mêmes modalités que celui développé dans ce travail et reprenant les informations des entretiens pourrait être proposé à un échantillon plus large d'artisans. Dans cette optique, la mobilisation des syndicats du bâtiment tel que la CAPEB (Confédération de l'Artisanat et des Petites Entreprises du Bâtiments) ainsi que de la FFB (Fédération Française du bâtiment) regroupant plusieurs centaines de milliers d'adhérents permettrait une représentativité de ces professions. La déclinaison régionale voir départementale de ces réseaux semble de plus être un atout considérable étant donné qu'elle permettrait au-delà d'une représentation au niveau national d'affiner les perceptions et réponses obtenues à une échelle territoriale. Enfin, les deux syndicats précités ayant mis en place des labels visant à « valoriser » les acteurs professionnels et artisans spécialisés dans la rénovation énergétique des bâtiments⁶³, une relecture des dispositions entravantes pourraient être envisagée selon le degré d'engagement des répondants aux enquêtes. Bien entendu, cette perspective reste fortement conditionnée par la mobilisation de ces profils d'acteurs qui par leurs métiers et leur faible disponibilité sont difficilement « atteignables » au travers de

⁶³ En 2007 la CAPEB a développé le label Eco-artisan. Depuis 2010, la FFB propose une équivalence sous la forme du label des « pro de la performance énergétique ».

questionnaire internet.

- Deuxièmement, l'élaboration d'un levier ou la perception d'un frein ainsi que son analyse et interprétation par une tierce personne, qu'elle soit issue du monde académique ou non, nécessite de coupler plusieurs approches et connaissances issues de différentes sciences. Cette interdisciplinarité, si elle peut être « touchée du doigt » par un chercheur isolé dans le cadre d'un travail de thèse doit avant tout être pensée conjointement. Engager et comprendre les tenants et aboutissant du changement dans le secteur du bâtiment nécessitent donc un croisement des regards. Ces regards doivent être ceux des chercheurs en sciences sociales, économique et de l'ingénieur mais aussi ceux des acteurs institutionnels, et économiques du bâtiment.
- Enfin, une meilleure prise en compte et intégrations de l'utilisateur dans la construction d'un projet performant doit être développée car l'application de technologies aussi performantes soient-elles ne peuvent être garante des objectifs définis. La recherche action menée auprès des locataires de l'ESH Cité Nouvelle, si elle constitue une première étape, nécessite d'être approfondie. De fait, les capteurs employés ainsi que les mesures effectuées montrent quelques lacunes impactant la capacité d'interprétation et de compréhension des actions et perceptions des locataires. Parmi ces lacunes, la mesure de la température de l'air et non celle dite opérative ou encore l'impact des mouvements d'air sur le confort semblent les plus significatives et leur absence un élément pouvant faire basculer notre analyse (Notamment sur la relation entre confort et température de chauffe). Une étude poussée sur le choix des capteurs, leur positionnement, leur plage de mesure et le type de valeurs enregistrées (température de l'air, température des parois, gradient de température, vitesse de l'air, etc.) apparaît donc nécessaire pour une collecte non intrusive des données et une meilleure vision du confort. Développer les connaissances sur le couple habitat-habitant est primordial car *« la prise en compte des occupants est indispensable pour l'acceptabilité des concepts techniques »* [WURTZ et al, 2010] (ce que notre étude confirme) et *« connaissant comment l'habitant réagit, on sera alors en mesure d'évaluer la consommation énergétique réelle d'un bâtiment »* [THELLIER et al, 2007] au travers des simulations.

C'est en abordant la place de l'habitant ainsi que sa prise en compte dans les scénarii de simulations que nous souhaiterions clore ce travail par le développement d'une proposition ou plutôt d'un questionnement couplées à une dernière perspective de recherche.

Comme nous l'avons vu au cours de cette recherche, les scénarii d'utilisation employés dans les modèles de simulations réglementaires d'un bâtiment sont normés. L'objectif avéré est alors de

fournir une consommation conventionnelle pour différents usages (chauffage, ventilation, etc.) et d'estimer l'économie relative potentiellement atteignable par le remplacement ou l'ajout de matériels et matériaux (isolant, nouvelles fenêtres, etc.). Or, si cet objectif est louable dans le cadre d'une prise de décision visant à définir les meilleurs choix technologiques ou actions à mettre en œuvre, il conduit bien souvent à des performances théoriques déconnectées des performances effectives mesurées. Immanquablement et sous condition d'une mise en œuvre adaptée, la différence entre consommations réelles et théoriques est imputée à l'habitant. Ce dernier, par son comportement peu sobre, est alors tenu comme seul responsable du non respect des objectifs. Cette vision technico-centrée désigne l'habitant comme seul devant s'adapter aux logiques de la technique. Or, pourquoi ne pas inverser cette logique et intégrer dans la technique, l'utilisation du bâti par les habitants ? Deux voies peuvent alors être proposées. La première voie consiste à développer des bâtiments suivant les principes de la conception de sureté. La conception de sureté est un principe largement employé dans l'industrie. Découlant de la loi de Murphy, elle prône, dès les premières phases d'un projet, (Planification, conception, etc.) la prise en compte de l'ensemble des éléments pouvant compromettre le fonctionnement d'une machine (dans notre cas un bâtiment). Une utilisation non « adéquate » par un usager fait partie de ces éléments et est prise en compte. Ainsi, dans le cadre d'une rénovation ou construction d'un bâtiment, le principe de conception de sureté pourrait être formulé comme suit : « Devant les fluctuations quant aux notions de confort et de par les difficultés actuelles à intégrer les comportements réels des locataires, une conception de sureté appliquée au bâtiment consiste à atteindre les objectifs prédéfinis et ce quelles que soient les conditions d'utilisations ultérieures ». A titre d'exemple, ces conditions pour la période hivernale pourraient être basées sur les valeurs suivantes tirés du scénario dégradé abordé dans le chapitre 4 : une température opérative de 22°C, un taux d'occupation considérant un sous-peuplement modéré à important selon les logements (1 personne par logement quel que soit le type de logement) et enfin, une absence de fermeture des volets durant la nuit. Plusieurs avantages de ce mode de conception peuvent-êtres évoqués :

- Premièrement, comme nous venons de le souligner, l'objectif théorique considérant un comportement en totale opposition avec le concept de sobriété tel qu'il est actuellement perçu, intègre dans une certaine mesure un possible effet rebond de la part des utilisateurs.
- Deuxièmement, il contribue à ne pas tuer le gisement d'économie d'énergie d'un bâtiment (ou en tout cas à limiter cet effet). De fait, un bâtiment rénové respectant les objectifs réglementaires (par exemple 150 kWh_{ep}/m²/an dans les logements) avec les scénarii d'utilisation proposés se verra obliger d'accroître la performance des systèmes (système de chauffage plus efficace) et du bâti (épaisseur d'isolant renforcée). On peut notamment citer comme exemple, les Labels Passivhaus et Minergie qui tout en

exigeant des niveaux de performance élevée, définisse la température de simulation à 20°C contre 19°C dans la réglementation Française.

- Troisièmement, cette approche de simulation accentue la responsabilité des intervenants du projet car tout non respect des objectifs sera de par l'utilisation des scénarii évoqués, bien plus imputable aux acteurs du projet qu'aux utilisateurs.
- Enfin, elle met un terme au dissensus important et ressenti entre acteurs professionnels et usagers sur la notion de confort

Bien entendu, un tel mode de simulation n'est pas sans poser de problème. En effet, une telle approche semble susceptible d'accroître le coup d'un projet (frein considéré comme important selon les acteurs interrogés) mais surtout dédouane l'utilisateur quant à l'impact de ses comportements sur les consommations du bâti et donc oblitère les aspects de sobriété.

C'est en considérant ce dernier point, et pour mettre en exergue qu'une telle conception ne peut avant tout constituer au mieux qu'un garde-fou et au pire une utopie technologique ; pour insister sur le fait que « *réduire un contexte existant à un dispositif matériel, spatial et technique oblitère la part d'investissement des êtres qui le parcourent* » [TOUSSAINT et al, 2006], mais surtout pour mettre en lumière **qu'en l'état actuel du système bâtiment le facteur 4 ne pourra être atteignable sans une rupture forte des modes de rénover et d'habiter.** que nos perspectives de recherche s'axent sur la sensibilisation et la compréhension du comportement des usagers (seconde voie). C'est notamment au travers du projet européen SHWE-IT⁶⁴ et par l'utilisation des technologies de l'information et de la communication que ce sujet est abordé. L'idée est alors de placer l'habitant face à ses usages, de recréer un lien permettant de rapprocher les actions de chacun aux consommations du quotidien.

C'est sans prétendre épuiser un sujet aussi vaste de même que les perspectives de recherche qui en découlent (Figure 98) que nous déterminons ce travail. Travail qui par la complexité du secteur étudié aura nécessité une approche interdisciplinaire, laissant alors la porte entrouverte aux critiques des pairs et experts de chacune des disciplines employées, mais surtout nous aura permis d'appréhender une partie des questions posées par ce secteur en pleine mutation.

⁶⁴ Social Housing Water and Energy Efficiency (showe-it.eu/)

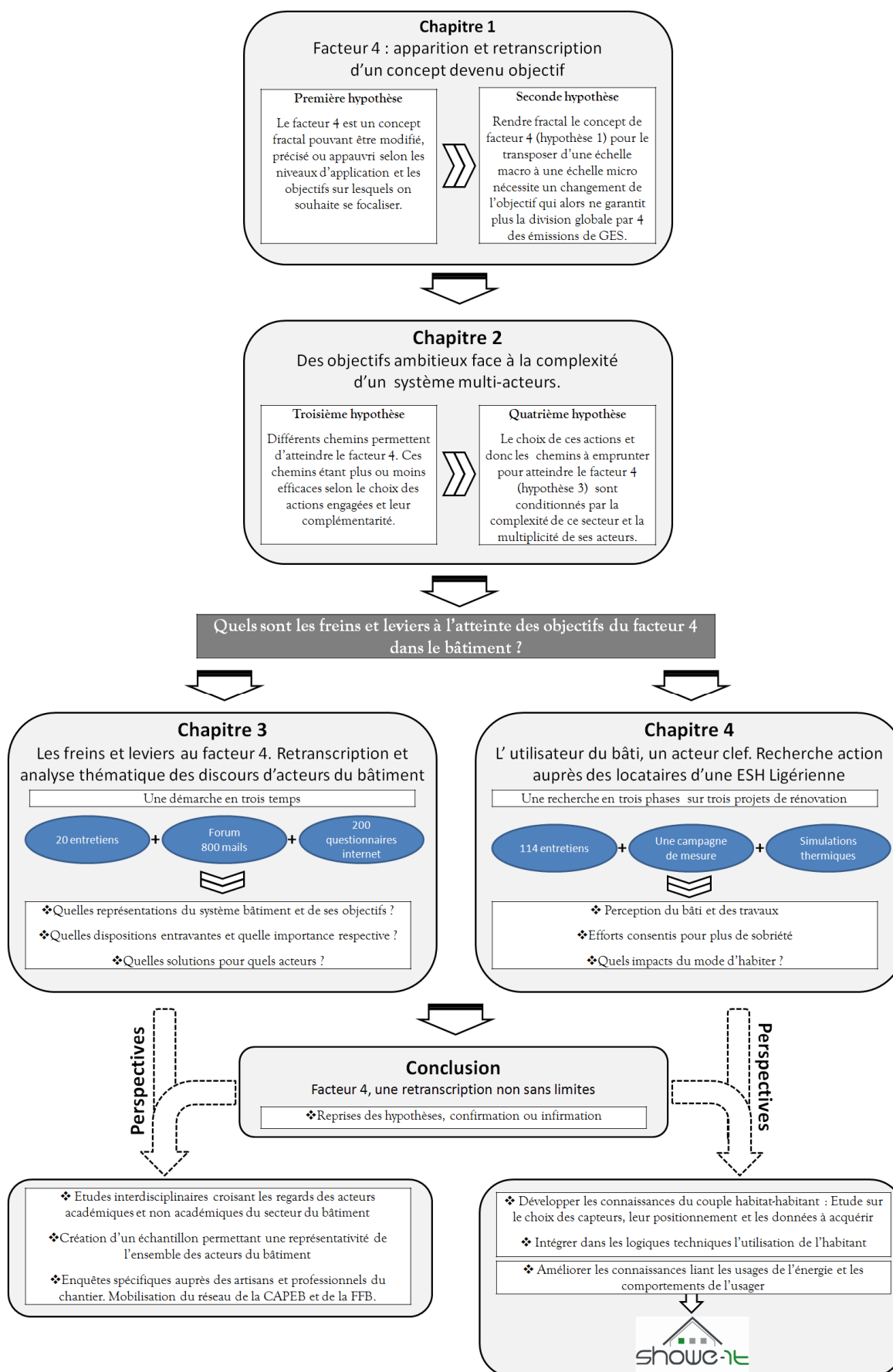


Figure 98 : Démarche de thèse et perspectives envisagées

Références Bibliographiques.

2Dbat. (2011) *Charte d'adhésion au forum*, <http://www.forum-2dbat.net/register.php>, Consultée le 14/11/2011.

ABDELGHANI IDRISSE, M. A., BIROT, J. J., SEGUIN, D., MILLER, A. et IP, K. (2004) *Outils d'analyse environnementale des bâtiments*, Réseau International de Développement Durable du Bâtiment, Durabuild, 24p.

ADEME. (2007) *Guides des facteurs d'émissions*, ADEME, MIES, 240p

ADEME. (2010) *Référentiel QEB logement social. Annexe E : Cahier des charges de simulation thermique dynamique*, ADEME, Région Rhône-Alpes, 8p.

ADEME. (2011) *Moins d'énergie pour le chauffage*, <http://www.faisonsvite.fr/Moins-d-energie-pour-le-chauffage>, Consulté le 29/06/2011.

AFNOR. (2003) *NF EN ISO 7730. Détermination analytique et interprétation du confort thermique par le calcul des indices PMV et PPD et par des critères de confort thermique local*. AFNOR, 52p.

ALBARELLO, L., BOURGEOIS, E. et GUYOT, J. (2007) *Statistique descriptive, un outil pour les praticiens-chercheurs*, Méthodes en Sciences Humaines, De Boeck, 159p.

ALCOTT, B. (2008) *The sufficiency strategy: Would rich-world frugality lower environmental impact ?* *Ecol.Econ*, 64, 770-786.

AMPASEL. (2011) *Les indicateurs Climat-Air-Energie de Saint-Etienne Métropole*. Association de Mesure de la Pollution Atmosphérique de Saint-Etienne et du département de la Loire, 6p.

AQC. (2011) *Tableau de bord. Les indicateurs d'évolution de la qualité des constructions*. Observatoire de la qualité de la construction, 60p.

ASSOCIATION négaWatt. (2011) *Dossier de synthèse. Scénario négaWatt 2011*, Association négaWatt, 28p.

ASSOCIATION négaWatt. (2006) *Pour un avenir énergétique sobre, efficace et renouvelable*, Scénario négaWatt 2006, 1.0.2, Association négaWatt, 15p.

AYMES, T. (2009) *Le point de vue du philosophe*, <http://www.philosong.fr/citations/Confucius.pdf>, Consulté le 8/01/12.

BAKER, N. STANDEVEN, M. (1995) *A Behavioural Approach to Thermal Comfort Assessment in Naturally Ventilated Buildings*, Proc. CIBSE National Conference, 76-84.

BARNETT, J. ADGER, W. N. (2007) *Climate change, human security and violent conflict*, *Political Geography*, 26, 639-655.

BATAILLE, C. BIRRAUX, C. (2009) *La performance énergétique des bâtiments : comment moduler la règle pour mieux atteindre les objectifs ?* Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques.

BEJEAN, S., MIDY, F. et PEYRON, C. (1999) *La rationalité simonienne : Interprétations et enjeux épistémologiques*, Université de Bourgogne et CREDES, 27p.

BLUGEON, J. P. (2002) *L'énergie grise noir sur blanc*, n°11, la maison écologique, 25-27.

BLOMSTERBERG, A., ENGVALL, K. (2011) *Overcoming barriers to implementation of very low energy residential buildings in Northern Europe*, ECEEE, 5p.

BOUTAUD, A. (2004) *Le développement durable: penser le changement ou changer le pansement ?* Thèse ENSM-SE, 415p.

BP. (2009) *Statistical Review of World Energy*, British Petroleum, 48p.

BRAGER, G. de DEAR, R. (2002) *Climate, Comfort & Natural Ventilation: A new adaptive comfort standard for ASHRAE Standard 55*, Volume 34, Energy and Building, 549-561.

BRUN, A., SPITZ, C. et WURTZ, E. (2009) *Analyse du comportement de différents codes de calcul dans le cas de bâtiments à haute efficacité énergétique*, IXème Colloque Interuniversitaire Franco-Québécois sur la Thermique des Systèmes, 6p.

CALLON, M. LATOUR, B. (2006) *Sociologie de la traduction, textes fondateurs, Le grand Léviathan s'approprie-t-il ?* Collection Sciences Sociales, Presses Mines Paris, 11-32.

CAMPBELL, C. J. LAHERRERE, J. H. (1998) *The end of cheap oil*, Scientific American, 278p.

CARASSUS, J. (2009) *Changement climatique et énergie : un nouveau paradigme pour l'immobilier*, Conférence de l'observatoire de la ville, 38p..

CE. (2011) *Communication de la commission au parlement européen, au conseil au comité économique et social européen au comité des régions. Feuille de route pour l'énergie à l'horizon 2050*, Commission Européenne, 20p.

CEREN. (2008) *Évolution de la consommation d'énergie par usage*, CEREN.

CETE. (2008) *Développement et utilisation d'un outil de mesure de l'étanchéité à l'air des menuiseries sur site*, Projet PREBAT PAM, Centre d'étude technique de Lyon, 172p.

CGDD. (2010) *Chiffres clefs de l'énergie - repères*, Commissariat général au développement durable, 40p.

CGDD. (2011a) *Chiffres et statistiques, La structure du parc de logement en 2010*, n°238, CGDD, 5p.

CGDD. (2011b) *Comptes du logement, premier résultat 2010, le compte 2009*, Commissariat général au développement durable, 184p.

CHATZIS, K. (1993) *La régulation des systèmes socio-techniques sur la longue durée. Le cas du système d'assainissement urbain*, Vol 1, Thèse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. Spécialité : Economie et sciences sociales, 516p.

CHERTOW, M. R. (2001) *The IPAT Equation and Its Variants Changing Views of Technology and Environmental Impact*, Journal of industrial ecology, MIT press, 18p.

CIAD. (2010) *Stratégie nationale de développement durable 2010-2013 – Pour une économie verte et équitable*, Comité interministériel pour le développement durable, 60p.

CITEPA. (2010) *Emissions dans l'air en France*, Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique, 25p.

CMED. (1987) *Rapport de la commission mondiale sur l'environnement et le développement*, Rapport Brundtland, CMED, 423p.

CNDB. (2009) *Les essentiels du bois. Bâtiment bois basse consommations et passifs*, n°6, CNDB et la Fédération des industries forestières suédoises, 28p.

COLGAN, J. (2011) *Oil and resource-backed aggression*, Energy Policy, 39, 1669-1676.

COMMONER, B. (1980) *The Closing Circle: Nature, Man and Technology*, Bantam Books, 343p.

COMMONER, B. (1972) *The environmental cost of economic growth*, Population, Resources and the Environment. Government Printing Office, 339-363

CROZE, C., ESTEVAN, L., LAYE, M., et al. (2007) *Habitat et modes d'habiter*, Sociologie Urbaine, IUP 2, Université Joseph Fourier, 25p

CROZIER, M. FRIEDBERG, E. (1977) *L'acteur et le système*, Sociologie politique, Editions du Seuil, 435p.

CSTB. (2011a) *Les économies d'énergie dans le bâtiment*, <http://www.rt-bâtiment.fr>, Consulté le 27/07/2011.

CSTB. (2011b) *Réglementation thermique des bâtiments existants. Fiche d'application : Précisions sur l'application des deux volets de la réglementation thermique des bâtiments existants*. CSTB, 11p.

DAVID, O. FABRE, A. (2007) *Les économies d'énergie dans l'habitat existant. Une opportunité si difficile à saisir ?* MINES PARIS - Les Presses ParisTech, 252p.

DE SINGLY, F. (2006) *L'enquête et ses méthodes. Le questionnaire*, Sociologie n°18, Armand Colin, 127p.

DELOORO, C. (2009) *La leçon du paradigme*, Vol. 74, L'Évolution Psychiatrique, 207-217.

DEOUX, S. DEOUX, P. (2004) *Le guide de l'habitat sain*, 2ième édition, MEDIECO ÉDITIONS, 537p.

DESSUS, B. (2002) *Maîtrise de l'énergie et développement durable, La nouvelle comptabilité énergétique française une révolution justifiée mais effectuée dans l'ombre*, n°16, Les cahiers de Global Chance, 40-42p.

DESSUS, B., LAPONCHE, B. et LE TREUT, H. (2008) *Effet de serre, n'oublions pas le méthane*, n°417, La Recherche, 46p.

DEVALIERE, I. (2007) *Comment prévenir la précarité énergétique ? Situation actuelle et risques inhérents à la libéralisation du service de l'énergie*, Annales de la Recherche Urbaine, 137-143.

DEVALIERE, I., BRIANT, P. et ARNAULT, S. (2011) *La précarité énergétique : avoir froid ou dépenser trop pour se chauffer*, n°1351, INSEE Première, 4p.

DING, G. K. C. (2008) *Sustainable construction. The role of environmental assessment tools*, 86, Journal of Environmental Management, 14p.

DONNADIEU, G. KARSKY, m. (2002) *La systémique, penser et agir dans la complexité*. Ediditons LIAISONS, 272p.

DUJIN, A. MARESCA, B. (2010) *La température du logement ne dépend pas de la sensibilité écologique*. n° 227, CREDOC, Consommation et modes de vie, 4p.

EEA. (2011) *Atmospheric greenhouse gas concentrations*, European Environment Agency, <http://www.eea.europa.eu>, Consulté le 22/06/11.

EHRlich, P. R. HOLDREN, J. P. (1971) *Impact of Population Growth*, Sciences, 5p.

EICHHOLTZ, P., KOK, N. et QUIGLEY, J. M. (2009) *Doing Well by Doing Good? Green Office Buildings*, 48p

EPURES. (2009) *Note de l'observatoire de l'habitat 2009*, Agence d'urbanisme de la région stéphanoise, 40p.

EPURES. (2011) *Note de l'observatoire de l'habitat 2011*, Agence d'urbanisme de la région stéphanoise, 44p.

FERREOL, G. DEUBEL, P. (1993) *Méthodologie des sciences sociales*, Armand Collin, Collection Cursus, 190p.

GIEC. (2007) *Changements climatiques 2007. Rapport de synthèse*, GIEC, 114p.

GIEC. (2001) *Rapport de synthèse, résumé à l'intention des décideurs*, GIEC, 37p.

GOBIN, C. (2003) *Analyse fonctionnelle et construction*, Techniques de l'ingénieur, traité Construction, 15p.

GONDRAN, N. (2001) *Système de diffusion d'information pour encourager les PME-PMI à améliorer leurs performances environnementales*, Thèse pour obtenir le grade de Docteur en sciences et techniques du déchet, INSA Lyon, ENSM Saint-Etienne, 309p.

GOULD, S. J. (2004) *Cette vision de la vie. Dernières réflexions sur l'histoire naturelle*. Edition du Seuil., 480p.

GRAWITZ, M. (2001) *Méthodes des sciences sociales*, Edition DALLOZ, 1019p.

GREENING, L. A., GREENE, D. L. et DIFIGLIO, C. (2000) *Energy efficiency and consumption - the rebound effect - a survey*, 28, Energy policy, 13p.

GRENELLE. (2008) *Groupe 1: Lutter contre les changements climatiques et maîtriser l'énergie*, Le Grenelle Environnement, 107p.

GRENELLE. (2010) *LOI n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en oeuvre du Grenelle de l'environnement*, Legifrance, 27p.

GT Facteur 4. (2006) *Rapport du Groupe de Travail « Division par quatre des émissions de gaz à effet de serre de la France à l'horizon 2050 »*, Ministère de l'Economie des Finances et de l'Industrie, 77p.

GUEGUEN, G. (2000) *L'administration des enquêtes par Internet*, ERFI-Université de Montpellier I, IXème Conférence de l'AIMS, 20p.

HEATON, G., REPETTO, R. et SOBIN, R. (1991) *Transforming technology: An agenda for environmentally sustainable growth in the 21st century*, World Resources Institute, 40p.

HESCHONG, L. (1981) *Architecture et volupté thermique*, Editions Parenthèses, 93p

HOBBS, T. (1999) *Léviathan*, Editions Dalloz, 828p.

HUBBERT, M. K. (1956) *Nuclear energy and the fossil fuels*, In Meeting of the Southern District, Division of production, San Antonio, Texas, Shell Development Company, 57p.

IEA. (2010) *Key World Energy Statistics 2010*, OECD/IEA, 82p.

IEEA. (2007) *Programme d'actions vers un facteur 4 pour la réhabilitation des logements sociaux en Europe*. Intelligent Energy Executive Agency, 76p.

ILLICH, I. (1973) *Energie et équité*, Parie, Edition du Seuil, 69p.

INSEE. (2008) *Consommation d'énergie : autant de dépenses en carburants qu'en énergie domestique*, 1176, INSEE PREMIERE.

INSEE. (2011) *Dictionnaire de définitions de l'INSEE*, <http://www.insee.fr>, Consulté le 29/06/2011.

INSEE. (1968) *Indice de peuplement (Norme INSEE)*, <http://www.insee.fr/>, Consulté le 29/06/2011.

INSEE. (2008) *Les logements en 2006, le confort s'améliore, mais pas pour tous*, INSEE PREMIERE, 4p.

INSEE. (2007) *Portrait de Saint-Etienne Métropole*, INSEE Rhône Alpes, 8p.

INSEE. (2011) *Résultat du recensement 2008*, <http://www.recensement.insee.fr/>, consulté le 9/08/11.

INSEE. (2011) *L'effet de la décohabitation*, <http://www.insee.fr>, Consulté le 3/01/2011.

IPCC. (2007) *Climate change 2007: The physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Intergovernmental Panel on Climate Change, 996p.

IZUBA ENERGIES. (2011), *Pléiades+Comfie*, <http://www.izuba.fr/logiciel/pleiadescomfie>, Consulté le 04/01/11.

JACQUOT, A. (2002) *La demande potentielle de logements. L'impact du vieillissement de la population*, n°875, INSEE, 4p.

JAYR, E., LAURENT, J., LEBERT, A. et CHEVALIER, J. (2011) *Bilan Carbone® appliqué au bâtiment, guide méthodologique*. ADEME, CSTB., 56p.

JOLIVET, M. VEGA PENA, A. (2002) *Relier les connaissances, transversalité, interdisciplinarité*. Volume 10, n°1, Nature, Sciences et sociétés, 78-95.

KRAFT, S. GUILPAIN, P. (2010) *Mission d'expertise technique pour l'élaboration et l'évaluation du Plan Climat Energie Territorial de Saint-Etienne Métropole. Phase 3 : Scénarii d'évolution de consommation d'énergie et d'émission de gaz à effet de serre*. Oxalis, 42p.

LAPONCHE, B. (2009) *Petit mémento énergétique de l'Union Européenne*, n° Hors Série, Les Cahiers de Global Chance, 140p.

LE MOIGNE, J. (1977) *La théorie du système général. Théorie de la modélisation*. Presses Universitaires de France, 258p.

LEBOW, V. (1955) *Price competition in 1955*, Journal of Retailing, 7p.

LEVY, P. (2010) *La rénovation écologique. Principe fondamentaux; Exemples de mise en œuvre*. Terre Vivante, 318p.

LOI POPE. (2005) *LOI no 2005-781 du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique*, 29p.

MARCHAL, J. LAGANDRE, E. (2008) *Modélisation des performances énergétiques du parc de logements. État énergétique du parc en 2008*, Agence nationale de l'habitat, 26p.

MARCOCCIA, M. (2004) *L'analyse conversationnelle des forums de discussion : Questionnements méthodologiques*. Les carnets du Cediscor n°8, les discours de l'internet, 22-37.

MARCOCCIA, M. (2001) *L'animation d'un espace numérique de discussion : l'exemple des forums usenet*, Vol.5, LAVOISIER, 11-26.

MARIGNAC, Y., DESSUS, B., GASSIN, H. et LAPONCHE, B. (2008) *Nucléaire : la grande illusion. Promesses, déboires et menaces*, n°25, Les Cahiers de Global Chance, 84p.

MARSAUCHE, M. (2009) *Informations pour la décision. Préfiguration d'un tableau de bord environnemental pour les SCOT. Application au Sud Loire*, Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne., 311p.

MATHY, S., FINK, M. et BIBAS, R. (2011) *Quel rôle pour les scénarios Facteur 4 dans la construction de la décision publique ?* Facteur 4, N° 2, Développement durable et territoires, 20p.

MECSL. (2007) *Diagnostic de performance énergétique. Guide à l'usage du diagnostiqueur*, V2, Ministère de l'emploi, de la cohésion sociale et du logement, 89p

MEDDTL. (2011) *Base de données pégase. Prix des énergies*, <http://developpement-durable.bsocom.fr>, Consulté le 30/08/11.

MEEDDEM. (2007) *Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement*, <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr>, Consulté le 18/07/2011.

MERCERON, S. THEULIERE, M. (2010) *Les dépenses d'énergie des ménages depuis 20 ans : Une part en moyenne stable dans le budget, des inégalités accrues*, n° 1315, INSEE première, 4p.

METL. (2000) *La programmation des bâtiments publics. Rédiger le préprogramme et le programme*, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, 49p.

MIES. (2004) *La division par 4 des émissions de dioxyde de carbone en France d'ici 2050, Introduction au Débat*, Mission Interministérielle sur l'Effet de Serre, 40p.

MIN, X., PAKORN, W., PRAMOD, K. V. et MANOJ, K. A. (2005) *Decision tree regression for soft classification of remote sensing data*, Remote Sensing of Environment, 15p.

MIQCP. (2006) *Guide des Maître d'Ouvrage Publics pour le choix d'un Conducteur d'Opération ou d'un Mandataire*, Mission interministérielle pour la qualité des constructions publiques, 136p.

MODARRES, M. KIM, I. S. (1987) *Application of goal tree - success tree model as the knowledge-base of operator advisory systems*, Nuclear Engineering and Design, 14p.

MORA, L. (2003) *Prédiction des performances thermo-aérauliques des bâtiments par association de modèles de différents niveaux de finesse au sein d'un environnement orienté objet*, Thèse de doctorant, spécialité Génie Civil, Université de la Rochelle., 222p.

MOREAU, V., GONDRAN, N. et LAFOREST, V. (2009) *Impacts locaux ou planétaires, aspects directs ou indirects : définitions, limites et prise en compte dans l'évaluation environnementale*, Colloque international et consortium doctoral de l'ISEOR en partenariat avec l'Academy of Management, Lyon, France, 8-10 juin 2009, 16p.

MORIN, E. (1991) *Introduction à la pensée complexe*, Communication et complexité, ESF éditeur, 158p

MORO, A. (2011) *Transnational comparison of instruments according to ecological evaluation of public buildings*, Enerbuild, 72p.

MORTUREUX, Y. (2008) *Arbres de défaillance, des causes et d'évènement*, Techniques de l'ingénieur, 24p.

MULLER, P. (2000) *L'analyse cognitive des politiques publiques : vers une sociologie politique de l'action publique*, Vol. 50, n°2, Revue française de science politique, 191p.

MULTON, B., THIAUX, Y. et BEN AHMED, H. (2011) *Consommation d'énergie, ressources énergétiques et place de l'électricité*, Edition T.I, 18p.

NF ISO 15392. (2008) *Développement durable dans la construction*, 18p

OE. (2009), *Observatoire de l'énergie*, <http://www.industrie.gouv.fr/energie/sommaire.html>, Site consulté le 18/07/11.

OLIVA, J. COURGEY, S. (2010) *L'isolation thermique écologique, terre vivante*, 253p.

OLLAGNON, H. (1987) *Une nécessaire rencontre des approches théoriques et pragmatiques de la gestion de la nature : l'audit patrimonial de type système-acteurs*, n°12, Cahier du Germes, 14p.

ONU. (1998) *Protocole de Kyoto à la convention-cadre des nations unies sur le changement climatiques*, Nations Unies, 23p.

OUMEZIANE, H. (2005) *Approche systémique pour une ingénierie du bâtiment intégrée. Contribution à l'interopérabilité d'acteurs en conception avancée*, Thèse de doctorat spécialité génie industriel. École Centrale des Arts et Manufactures « École CENTRALE PARIS », 201p.

PARTENAY, C. (2010) *Herbert Simon : rationalité limitée, théorie des organisations et sciences de l'artificiel*, Groupe Réseaux Jean Monnet (GRJM), WP-2005-7, 28p.

PERCEBOIS, J., MANDIL, C. (2012) *Energies 2050*, Ministère de l'industrie, de l'énergie et de l'économie numérique, 532p.

PLAN CLIMAT. (2004) *Plan climat 2004, face au changement climatique, agissons ensemble*, Ministère de l'écologie et du développement durable, 88p.

QUIVY, R. CAMPENHOUDT, L. V. (2006) *Manuel de recherche en sciences sociales*, Edition DUNOD, 256p.

REINMANN, I., FARGE, Y. et ROLLIN, F. (2011) *Levers à l'innovation dans le secteur du bâtiment*, Plan Bâtiment Grenelle, Groupe de travail "Innovation", 115p.

ROCA, J. (2002) *The IPAT formula and its limitation*, Ecological Economics, 2p.

ROULET, C. R. (2008) *Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments 2ième édition mise à jour et complétée*, Presses polytechniques et universitaires romandes, 359p.

SAHEB, Y. (2007) *The Ten Certification Principles*, Eurovent Review n°100, Eurovent Review, 4p

SALOMON, T., COUTURIER, C., JEDLICZKA, M., LETZ, T. et LEBOT, B. (2005a) *A negawatt scenario for 2005-2050*, ECEEE, 7p.

SALOMON, T., MIKOLASEK, R. et PEUPORTIER, B. (2005b) *Outil de simulation thermique du bâtiment*, COMFIE. Journée thématique SFT-IBPSA, 8p.

SCHNEIDER, F. (2003) *L'effet Rebond*, L'Ecologiste n°11, The Ecologist, 4p

- SEM. (2011)** *Premier programme d'actions. Plan Climat Energie Territorial*, Saint Etienne Métropole, 27p.
- SEM. (2010a)** *Rapport d'activité 2010 Saint-Etienne Métropole*, Saint-Etienne Métropole, 14p.
- SEM. (2010b)** *Statuts modifiés de la communauté d'agglomération de Saint-Etienne Métropole*, Saint-Etienne Métropole, 11p.
- SEM. (2011)** *A la découverte du territoire*, <http://www.agglo-st-etienne.fr/portrait-du-territoire/a-la-decouverte-du-territoire/>, Consulté le 01/12/11.
- SEM. (2008)** *Mettons en échec le réchauffement climatique. Plan climat énergie de Saint-Etienne Métropole. Diagnostic et enjeux*, Saint-Etienne Métropole, 12p.
- SIDLER, O. (2003)** *Diviser par 4 la consommation d'énergie des bâtiments: mythe ou réalité ?* ENERTECH, 4p.
- SIDLER, O. (2007)** *Rénovation à basse consommation d'énergie des logements en France*, Projet "RENNAISSANCE", Programme européens CONCERTO, Enertech, 81p.
- SIDLER, O. (2010)** *La rénovation à très basse consommation d'énergie des bâtiments existants*, Institut négaWatt, 243p.
- SIMON, H. A. (1983)** *Administration et Processus de décision*, Economica, 321p.
- SIMON, H. A. (1992)** *De la rationalité substantive à la rationalité procédurale*, ISSN numéros 3, 14p.
- SPE. (2007)** *Petroleum Ressources Management System*, Society of Petroleum Engineers, 49p.
- ST 2007-01. (2007)** *Solution technique relative au respect des exigences de confort d'été de la RT 2005*, Direction Générale de l'Urbanisme de l'Habitat et de la Construction, 4p.
- ST 2007-02. (2007)** *RT 2005. Solution technique. Maison individuelle non climatisée*, Direction Générale de l'Urbanisme de l'Habitat et de la Construction, 17p.
- ST 2008-01. (2008)** *Solution technique relative au respect des exigences de la RT 2005 pour les maisons méditerranéennes individuelles non climatisées*. Direction Générale de l'Urbanisme de l'Habitat et de la Construction, 24p.
- STOCK, M. (2004)** *Pratiques des lieux, modes d'habiter, régime d'habiter*, Vol. 115-118, Travaux de l'Institut de Géographie de Reims, 213-229.
- SYPA. (2004)** *Guide pour le choix d'un programmiste à l'usage des maîtres d'ouvrage publics ou privés*, Syndicat des Programmistes en Architecture et en Aménagement, 18p.
- TAYLOR, F. (1911)** <http://melbecon.unimelb.edu.au/het/taylor/sciman.html>, Consulté le 01/11/09.

THELLIER, F., MONCHOUX, F. et ENDRAVADAN, M. (2007) *Prise en compte du comportement adaptatif de l'être humain dans la simulation thermique de l'habitat*, Proc. congrès S.F.T, Thermique et Société, 6p.

TITTELEIN, P. (2008) *Environnements de simulation adaptés à l'étude du comportement énergétique des bâtiments basse consommation*, Thèse de Doctorant, Spécialité Génie Civil et Sciences de l'Habitat, Université de Savoie., 220p.

TOL, R. S. J., DOWNING, T. E., KUIK, O. J. et SMITH, J. B. (2004) *Distributional aspects of climate change impacts*, Global Environmental Change Part A, 14, 259-272

TOUSSAINT, J. CHELKOFF, G. (2006) *Concevoir pour l'existant. D'autres commandes, d'autres pratiques, d'autres métiers*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR), Chapitre 10 : Transformer l'existant par l'ambiance, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR), 182p.

TRAISNEL, J. P., JOLITON, D., LAURENT, M. H., CAFFIAUX, S. et MAZZENGA, A. (2010) *Habitat Facteur 4 : Etude d'une réduction des émissions de CO2 liées au confort thermique dans l'habitat à l'horizon 2050*, n°20, Club d'Ingénierie Prospective Energie et Environnement, 104p.

TRIBU ENERGIE. (2006) *La méthode de Calcul des Consommations Conventionnelles dans les Logements*, TRIBU ENERGIE, 33p.

TSOSKOUNOGLOU, M., AYERIDES, G. et TRITOPOULOU, E. (2008) *The end of cheap oil: Current status and prospects*, n°36, Energy Policy, 3797-3806.

TUDDENHAM, M. (2006) *Historique du Facteur 4*, CITEPA, 3p.

UNFCCC. (2010) *Convention-cadre sur les changements climatiques, Rapport de la quinzième session de la Conférence des Parties*, ONU, 46p.

UNFCCC. (2011) *Convention-cadre sur les changements climatiques. Synthèse des informations et des observations sur les éléments susceptibles d'être pris en compte dans le cadre de l'atelier commun sur les questions relatives au paragraphe 3 de l'article 2 et au paragraphe 14 de l'article 3 du Protocole de Kyoto*, United Nations Framework Convention on Climate Change, 12p.

UNTEC. (2011) *Économiste de la construction, des compétences, un métier*, Union Nationale des Economistes de la Construction., 2p.

VAUTIER, J. (2001) *Système complexe, Présentation générale*, Techniques de l'ingénieur, 7p.

VERBRUGGEN, A. ALMARCHOHI, M. (2010) *Views on peak oil and its relation to climate change policy*, n°38, Energy Policy, 5572-5581.

VILLOT, J., GONDRAN, N. et LAFOREST, V. (2010) *Labels de la construction : quelle contribution possible au facteur 4 ?* Vol 2, n°1, Dossier Facteur 4, Développement durable et territoire, 26p.

VILLOT, J., GONDRAN, N. et LAFOREST, V. (2009) *La vision de la construction « durable » au regard des labels*, Rapport pour l'Institut Français pour la Performance Energétique du Bâtiment, 33p.

von **WEIZACKER, E. U., LOVINS, A. B. et LOVINS L. Hunter. (1997)** *Facteur 4 : deux fois plus de bien-être en consommant deux fois moins de ressources: Rapport au Club de Rome*, Terre Vivante, 318p

WACKERNAGEL, M. REES, W. (1996) *Our Ecological Footprint: Reducing human impact on Earth*, New Society Publishers, 160p.

WAREMBOURG, M. (2010) *Solutions Efficacité Energétique, Contrat de performance énergétique*, Scheider Electric, Assises de la réhabilitation - Grenoble, 12-35.

WBCSD. (2007) *Energy Efficiency in Buildings, Business realities and opportunities. Facts and Trends*, Summary report, World Business Council for Sustainable Development, 40p.

WURTZ, E., RIEDERER, P., RUSAOUEN, G. et PALOMO del BARIO, E. (2010) *DYNASIMUL : Projet ANR-06-PBAT-004-01. Rapport scientifique final*, 260p.

YORK, R., ROSA, E. A. et DIETZ, T. (2003) *STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts*, Ecol.Econ, 46, 351-365

ZELEM, M. C. (2010) *Politiques de maîtrise de la demande d'énergie et résistance au changement*, Edition l'Harmattan, 324p.

ZELEM, M. C., ARDITI, S., FALEMPE, M., JONCOUX, S. et MARCOS, C. (2009) *Les conditions socio-techniques d'une diffusion des économies d'énergie dans le bâtiment. Vers une simulation multi-agents*, ERT-SPEED, Uni CUFR-JFC Albi, Ecole des Mines d'Albi, 275 p + annexes.

Annexes.

Annexe 1 : Liste des entretiens et profil.

Phase	Code	Type de structure	Statut	Genre
Entretiens	E-INST-1	Ville	Chef de service - Projets Transversaux	H
Entretiens	E-INST-2	Communauté d'agglomération	Chargée de mission Energies Climat	F
Entretiens	E-CONS-1	Société d'ingénierie et de conseil	Directeur	H
Entretiens	E-INST-3	Communauté d'agglomération	Responsable service habitat	F
Entretiens	E-ASSO-1	Association pour la performance énergétique	Président	H
Entretiens	E-ASSO-2	Espaces info-énergie	Chargé de mission - Bâtiments durables	H
Entretiens	E-INST-4	Collectivité territoriale publique	Responsable du service «Energies»	H
Entretiens	E-ASSO-3	Association pour l'habitat	Chargé de mission	H
Entretiens	E-ASSO-4	Association de professionnels	Chargé de projet bois	H
Entretiens	E-INST-4	Agence Locale de l'Energie	Chargé de mission bâtiment	H
Entretiens	E-ARCH-1	Cabinet d'architecte TPE	Architecte	H
Entretiens	E-SYND-1	Fédération du bâtiment	Responsable Environnement Sécurité Technique	H
Entretiens	E-INST-5	Communauté d'agglomération	Responsable du service patrimoine	H
Entretiens	E-INST-6	IEA	Analyste efficacité énergétique	F
Entretiens	E-ESH-1	Entreprise sociale pour l'habitat (ESH)	Responsable du service Patrimoine	H
Entretiens	E-ECO-1	Cabinet économiste du bâtiment	Economiste	H
Entretiens	E-BET-1	Bureau d'études fluides	Ingénieur	H

Entretiens	E-INST-7	Agence régionale de l'énergie	Chargé de mission	H
Entretiens	E-INST-8	Agence régionale de l'énergie	Chargé de mission	H
Entretiens	E-ARCH-2	cabinet d'architecte	Architecte	H

Phase	Nom, Prénom	Type de structure	Statut	Genre
Forum	BOBEDA Raphael	Agence d'architecture	Ingénieur	H
Forum	CHOLIN Xavier	Institut Nationale de l'Energie Solaire	Ingénieur-Formateur	H
Forum	DUTREIX Armand	Bureau d'études techniques	Ingénieur énergétique	H
Forum	PUYAUBREAU Céline	Bureau d'études et de conseils	Ergonome*	F
Forum	TRUCHETET Vesna	Agence d'urbanisme	Architecte-Urbaniste	F

*Etudes et conseils en facteurs humains, ergonomie de conception, nouveaux usages et innovation.

Annexe 2 : Guide d'entretien pour les acteurs du bâtiment

Date :	Lieu :	Durée :
<p>Nom :</p> <p>Prénom :</p> <p>Fonction :</p> <p>structure :</p> <p>Type d'acteurs :</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <input type="checkbox"/> Assistant au Maître d'Ouvrage <input type="checkbox"/> Bureau de contrôle <input type="checkbox"/> Bureau d'études <input type="checkbox"/> Coordinateur Santé Protection Sécurité <input type="checkbox"/> Entreprise Gros Œuvre <input type="checkbox"/> Entreprise Second Œuvre <input type="checkbox"/> Entreprise de maintenance </div> <div style="width: 45%;"> <input type="checkbox"/> Gestionnaire <input type="checkbox"/> Maître d'œuvre <input type="checkbox"/> Maître d'Ouvrage <input type="checkbox"/> Politique <input type="checkbox"/> Programmiste des bâtiments <input type="checkbox"/> Responsable Ordonnancement Planification Coordination <input type="checkbox"/> Réglementaire <input type="checkbox"/> Autres </div> </div>		
Identification de l'acteur de la situation et des problèmes		
Questions principales	Questions complémentaires	Questions de clarification
Avez-vous déjà participé à des opérations de rénovation du bâti ancien ?	❖ Combien ? ❖ Quand ? ❖ Lesquelles ?	❖ Pouvez-vous m'en dire un peu plus ? ❖ Pouvez-vous m'en dire davantage ? ❖ Pouvez-vous me donner des exemples ?
L'aspect thermique du bâtiment et notamment les futures consommations énergétiques vous semble t'il important lors de rénovations ?	❖ Pourquoi ? ❖ Vous semble t'il bien pris en compte lors des projets de rénovation ?	
Quels sont selon vous les objectifs du bâtiment performant ?	❖ Lesquels sont prioritaires	
Avez-vous déjà entendu parler de l'objectif du facteur 4 ?	❖ Si oui, à quoi fait-il référence pour vous dans le secteur du bâtiment ?	
Quelle importance revêt pour vous la rénovation des logements anciens pour l'atteinte des objectifs du	❖ Pourquoi ?	

facteur 4 ?		
Les pratiques et la dynamique actuelle autour de la rénovation sont-elles suffisantes pour l'atteinte de cet objectif ?	❖ Pourquoi ?	
Quels sont pour vous les freins ou les limites actuelles à l'atteinte des objectifs du facteur 4 dans le bâtiment ?	❖ Quelle en est la cause ? ❖ Quels acteurs sont concernés ?	
Diagnostic de l'action engagée		
Quel est votre capacité d'intervention pour la réduction des consommations d'énergie ?		❖ Pouvez-vous m'en dire un peu plus ? ❖ Pouvez-vous m'en dire davantage ? ❖ Pouvez-vous me donner des exemples ?
Quelles sont les actions que vous avez engagées en faveur de la performance énergétique dans le bâtiment ?	❖ Les actions engagées portaient tel sur la sobriété ou sur l'efficacité	
Toutes les actions menées revêtent-elles la même importance ?	❖ Que pensez-vous de l'intérêt des actions engagées pour : ❖ La mise en place de pratiques qui permettent d'économiser l'énergie (sobriété) ❖ La mise en place d'investissements permettant d'améliorer l'efficacité énergétique ❖ L'utilisation des énergies renouvelables ?	
Les actions que vous avez engagées ont-elles un caractère reproductible ou démonstratif ?		
Prospective		
Selon vous, comment va évoluer la prise en compte des questions énergétiques dans les projets de rénovation de l'habitat ancien ?	❖ A court terme (2012) ❖ A moyen terme (2020) ❖ A long terme (2050)	❖ Pouvez-vous m'en dire un peu plus ?

Quelle serait pour vous le scénario idéal permettant d'atteindre les objectifs du facteur 4 ?		<ul style="list-style-type: none">❖ Pouvez-vous m'en dire davantage ?❖ Pouvez-vous me donner des exemples ?
Quel serait pour vous le scénario le plus pessimiste ?		
Quel serait alors l'évolution de votre rôle et de vos interventions ?	<ul style="list-style-type: none">❖ Pourquoi ?	
Propositions d'actions		
Quels sont les objectifs que vous souhaiteriez voir fixés et les actions menées pour l'amélioration de la qualité thermique des bâtiments anciens ?	<ul style="list-style-type: none">❖ Comment pourriez-vous y participer directement ?❖ Quels sont les acteurs à mobiliser pour les atteindre ?	<ul style="list-style-type: none">❖ Pouvez-vous m'en dire un peu plus ?❖ Pouvez-vous m'en dire davantage ?❖ Pouvez-vous me donner des exemples ?
Quels sont les leviers d'action pour y parvenir ?	<ul style="list-style-type: none">❖ Pourquoi ?❖ Quels sont les acteurs les plus à même de développer ces leviers ?❖ En faite-vous partie ?	
Qu'est ce qui empêche actuellement le développement de ces leviers ?		

Annexe 3 : Questionnaire fermé pour les acteurs du bâtiment



Questionnaire : Les acteurs du bâtiment et la performance énergétique (Durée : 5 - 6 min)

Ce questionnaire ANONYME s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche de thèse mené à l'École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne.

La durée du questionnaire est estimée entre 5 et 6 min (29 questions)

Les personnes intéressées par les résultats de cette enquête pourront laisser leur adresse mail à la fin du questionnaire.

Q1) Par quel biais avez-vous reçu ce questionnaire ?

- ☐ Par la liste de diffusion Négawatt
- ☐ Par l'association Ville et Aménagement Durable (VAD)
- ☐ Par la liste de diffusion EnviroBAT - Méditerranée
- ☐ Par l'intermédiaire du site Construction21
- ☐ Autre :

Thème 1 : Vous et les autres acteurs

Q2) Vous-êtes ?

- ☐ Une Association
- ☐ Un Architecte
- ☐ Un Assistant au Maître d'Ouvrage
- ☐ Un Bailleur social
- ☐ Un Bureau d'études
- ☐ Un Chauffagiste
- ☐ Un Chercheur
- ☐ Une Collectivité
- ☐ Un Economiste du bâtiment
- ☐ Une Entreprise du bâtiment (Gros Oeuvre)
- ☐ Une Entreprise du bâtiment (Second Oeuvre)

- ☐ Un Etablissement public (ADEME, CSTB, ...)
 ☐ Un Etudiant
 ☐ Une Fédération du bâtiment
 ☐ Un Gestionnaire de bâtiment
 ☐ Un Industriel
 ☐ Un Syndic de copropriété
 ☐ Autre :

Q2 bis) Pouvez-vous indiquer votre origine géographique (n° de département en chiffre ex: 41)

Q3) A quel type de projet avez-vous déjà participé ?

	Oui	Non
Neuf résidentiel	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Neuf tertiaire	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rénovation résidentiel	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rénovation tertiaire	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Q4) Quel est pour vous l'objectif prioritaire d'une rénovation énergétique ?

- ☐ Une réduction de l'impact environnemental du bâti
 ☐ Une réduction des coûts de fonctionnement du bâtiment
 ☐ Une augmentation du « bien-être » des occupants

Q5) Le dernier projet de rénovation dont vous avez eu connaissance (en dehors de ceux auxquels vous avez participé) était-il selon-vous ?

- ☐ Exemple mais non reproductible
 ☐ Exemple et reproductible
 ☐ Un projet, certes non parfait, mais ayant permis d'expérimenter des techniques et de les améliorer
 ☐ Un exemple de green-washing

Q6) Selon vous, les problématiques environnementales et énergétiques dans le bâtiment sont acceptées et partagées par ?

- ☐ Tous
 ☐ Une majorité
 ☐ Une minorité

Q7) Pour vous, les acteurs suivants peuvent-ils être considérés comme "freins", "neutres" ou "moteurs" pour l'atteinte des objectifs de performance énergétique (~ 50 kWhep / m² / an) ?

	"Freins"	"Neutres"	"Moteurs"
Les Architectes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Les AMO QEB	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Les Bailleurs sociaux	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Les Bureaux d'études fluides	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Les Chauffagistes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Les Collectivités	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Les Economistes du bâtiment	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Les Entreprises du bâtiment (Gros Oeuvre)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Les Entreprises du bâtiment (Second Oeuvre)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Les Etablissements publics tels que l'ADEME, le CSTB,	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Les Fédérations du bâtiment	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Les Gestionnaires de bâtiment	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Les Industriels	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Les Syndics de copropriétés	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Les Locataires et propriétaires occupants	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Les politiques	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Les Etablissements financiers	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Q8) En général, le dialogue et les modes de coordination actuels entre les acteurs du bâtiment sont-ils suffisants pour atteindre des objectifs de performance proche de 50 kWhép / m² / an ?

	Oui	Non	Ne sais pas
En phase conception	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
En phase de réalisation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Q9) A votre niveau, possédez-vous les informations et compétences nécessaires pour permettre aux projets sur lesquels vous travaillez d'atteindre des objectifs de performance proche de 50 kWhép / m² / an ?

- ☐ Oui
☐ Non

Commentaires libres sur le thème 1 : Vous et les autres acteurs

(Si vous souhaitez développer un point abordé ou non dans ce thème vous pouvez le faire dans l'encadré ci-dessous)

Thème 2 : Les politiques et objectifs

Q10) Avez vous déjà entendu parlé du facteur 4 ?

- ☐ Oui
☐ Non (Passer à la question Q11)

Q10a) Pour vous, le facteur 4 dans le secteur du bâtiment signifie avant tout ?

- ☐ Une réduction par 4 des consommations d'énergie primaire avant 2050

- ☐ Une réduction par 4 des émissions de gaz à effet de serre avant 2050
- ☐ Une réduction par 4 des coûts d'utilisation
- ☐ Une augmentation par 4 du bien-être des occupants

Q10b) L'objectif du facteur 4 dans le bâtiment est-il selon vous ?

- ☐ Atteignable en l'état actuel de la dynamique et des connaissances du secteur du bâtiment
- ☐ Atteignable sous condition d'une mobilisation accrue de tous les acteurs (Banquiers, MO, MOe, etc...)
- ☐ Irréalizable

Q10c) Les politiques (Grenelle, RT2012, ...) et objectifs (Facteur 4, 3x20, ...) portés par les institutions gouvernementales sont-ils selon vous en adéquation avec les problématiques de terrain ?

- ☐ Oui totalement
- ☐ Oui en partie
- ☐ Non

Q11) Avez-vous déjà entendu parlé des scénarios prospectifs (ex : Scénario du CLIP, Scénario Negawatt, etc...) ?

- ☐ Oui
- ☐ Non (Passer à la question Q12)

Q11a) Les scénarios prospectifs sont selon vous ?

- ☐ Un moyen de sensibiliser et de frapper les esprits
- ☐ Une ouverture de votre champ de décisions vers de nouvelles solutions
- ☐ Des approches théoriques déconnectées des réalités du terrain

Commentaires libres sur le thème 2 : les politiques et objectifs

(Si vous souhaitez développer un point abordé ou non dans ce thème vous pouvez le faire dans l'encadré ci-dessous)

Thème 3 : Aspect comportemental et sociétal

Q12) Quel synonyme correspond selon vous le mieux à la notion de sobriété énergétique ?

- ☐ Austérité
- ☐ Tempérance
- ☐ Aucun des deux

Q13) La température réglementaire de 19 °C* dans les bâtiments à usage d'habitation est-elle selon vous ?

(*Température homogène entre les murs et l'air)

- ☐ Confortable et acceptable
- ☐ Inconfortable et contestable
- ☐ La question ne se pose pas car c'est la loi !

Q14) Quel niveau d'impact sur les consommations de chauffage accorderiez-vous aux éléments suivants ?

	Important	Faible	Négligeable
L'augmentation des températures des logements	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
L'augmentation de la superficie des logements	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La diminution du taux d'occupation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La mauvaise gestion des fenêtres et volets en période hivernale	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Q15) Avez-vous déjà entendu parlé de l'effet rebond ?

- ☐ Oui
- ☐ Non (Passer à la question Q16)

Q15a) Quel est, selon vous, l'importance de l'effet rebond sur les consommations de chauffage dans le bâtiment ?

- ☐ Important
- ☐ Limité
- ☐ Négligeable

Q16) Les actions de sensibilisation sont-elles selon vous un levier pour la promotion des économies d'énergies dans le bâtiment ?

- ☐ Très efficace
- ☐ Efficace
- ☐ Efficace mais limité
- ☐ Peu efficace
- ☐ Inefficace

Commentaires libres sur le thème 3 : Aspect comportemental et sociétal

(Si vous souhaitez développer un point abordé ou non dans ce thème vous pouvez le faire dans l'encadré ci-dessous)

Thème 4 : Aspect réglementaire

Q17) Les niveaux de performance demandés par les réglementations thermiques vous semblent-ils ?

	Suffisants	Insuffisants
Pour le neuf (RT 2012)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pour le bâti ancien (RT existant)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Q18) Connaissez-vous le diagnostic de performance énergétique

- ☐ Oui
- ☐ Non (Passer à la question Q19)

Q18a) Le diagnostic de performance énergétique est une méthode ?*

(* Plusieurs réponses possibles)

- ☐ Simple et relativement fiable pour la caractérisation de la performance des bâtiments
- ☐ Approximative et parfois fausse au vu des incertitudes qu'elle génère (méthode de calcul, expérience du diagnostiqueur, etc...)
- ☐ Intéressante pour la sensibilisation du grand public
- ☐ Inutile

Q19) Connaissez-vous les méthodes de simulation thermique réglementaire

- ☐ Oui
- ☐ Non (Passer à la question Q20)

Q19a) Les méthodes de simulation basées sur les réglementations (RT 2005 ou 2012) sont ?

- ☐ Des outils efficaces permettant de "prédire" la consommation réelle du bâtiment
- ☐ Des outils efficaces permettant de calculer les consommations conventionnelles du bâti
- ☐ Des "usines à gaz"

Q20) Connaissez-vous les méthodes de simulation thermique dynamique

- ☐ Oui
- ☐ Non (Passer à la question Q21)

Q20a) La simulation thermique dynamique est-elle selon vous ?*

	Oui	Non
Un outil indispensable à tous projets de rénovation et construction « performante »	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Un outil permettant de simuler les consommations réelles du bâtiment	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Un possible substitut aux méthodes réglementaires	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Un outil peu banalisé	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Un outil encore mal maîtrisé	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Q21) Les labels (Effinergie, Minergie, HQE, BREEAM, etc...) sont-ils selon vous ? *

(* Plusieurs choix possibles)

- ☐ Des outils novateurs permettant d'aller plus loin que la réglementation
- ☐ Un moyen de communiquer sur ses projets de construction et rénovation
- ☐ Un moyen d'obtenir des subventions
- ☐ Inutiles

Q22) Les performances thermiques réelles du bâtiment doivent-elles être garanties et sanctionnables en cas d'écart avec les mesures ?

- ☐ Oui
- ☐ Non
- ☐ Ne sais pas

Q22) Les performances thermiques réelles du bâtiment doivent-elles être garanties et sanctionnables en cas d'écart avec les mesures ?

- ☐ Oui
- ☐ Non
- ☐ Ne sais pas

Q23) Une obligation de rénovation thermique des bâtiments existants est-elle nécessaire pour l'atteinte du facteur 4 dans le bâtiment ?

- ☐ Oui
- ☐ Non
- ☐ Ne se prononce pas

Q24) Les réglementations (ZPPAUP, PLU, code de l'Urbanisme) sont-elles des freins "peu importants", "importants", "très importants" lors de projets de rénovation énergétique ?

- ☐ Peu importants
- ☐ Importants
- ☐ Très importants

Commentaires libres sur le thème 4 : Aspect réglementaire

(Si vous souhaitez développer un point abordé ou non dans ce thème vous pouvez le faire dans l'encadré ci-dessous)

Thème 5 : Aspect Financier

Q25) Le (sur)coût de la « basse énergie » est-il selon vous ?

- ☐ Un frein souvent "réhibitoire"
- ☐ Une contrainte importante devant être consentie au vu de l'urgence des problèmes énergétiques et climatiques
- ☐ Faible si l'on prend en compte les économies générées lors de l'utilisation du bâtiment

Q26) Les financements et aides actuellement proposés sont-ils selon vous ?

- ☐ Insuffisants
- ☐ Suffisants
- ☐ Suffisants mais pas assez restrictifs sur les niveaux de performance du projet

Q27) Les financements devraient-ils en priorité porter sur ?

- ☐ Les campagnes de sensibilisation des acteurs et utilisateurs du bâtiment
- ☐ L'optimisation des systèmes de production d'énergie non renouvelable
- ☐ Les systèmes de production d'énergie renouvelable
- ☐ L'amélioration du bâti (isolation, menuiseries, ventilation, etc...)

Q28) Avez-vous entendu parlé des contrats de performance énergétique et/ou partenariat public privé

- ☐ Oui
- ☐ Non (Passer à la question 29)

Q28a) Les contrats de performance énergétique et/ou partenariat public privé constituent-ils un moyen de financement efficace des projets de rénovation ?

- ☐ Oui
- ☐ Non

Commentaires libres sur le thème 5 : Aspect Financier

(Si vous souhaitez développer un point abordé ou non dans ce thème vous pouvez le faire dans l'encadré ci-dessous)

Conclusion

Q29) Parmi ces 4 types de freins, quels sont ceux pouvant le plus compromettre l'atteinte des objectifs de performance énergétique (~ 50 kWhep / m² / an) dans le bâtiment ?

	1 = Peu impactant	2	3	4	5 = Très impactant
Freins techniques (mise en oeuvre, performance des matériaux, ...)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Freins financiers (Coûts, absence de subventions, ...)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Freins réglementaires (Absence d'obligation de rénovation, réglementations contradictoires, ...)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Freins comportementaux (Acteurs peu sensibilisés, effet rebond, ...)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Commentaire général

Si vous souhaitez recevoir les résultats de cette enquête, vous pouvez laisser votre adresse e-mail ci-dessous

(Le questionnaire restera anonyme dans tous les cas de figure)

MERCI pour votre temps et n'oubliez pas de soumettre vos réponses en cliquant sur le bouton "ENVOYER" ci-dessous

« Retour

Envoyer

Fourni par [Google Documents](#)

[Signaler un cas d'utilisation abusive](#) - [Conditions d'utilisation](#) - [Clauses additionnelles](#)

Annexe 4 : Données des analyses par tableaux croisés

Tableau 73 : Connaissance du concept de facteur 4 et localisation des acteurs

TABLEAU 32 EN LIGNE : Q2 bis) Localisation				POIDS TOTAL : 245.
EN COLONNE : Q10) entendu parlé du facteur 4 ?				
POIDS	C32=Facteur	C32=Facteur	ENSEMBLE	
% COLONNE				
% LIGNE	4 (Non)	4 (Oui)		
Autres départements	5 10.42 7.25	64 32.49 92.75	69 28.16 100.00	
C4=Loire	33 68.75 35.87	59 29.95 64.13	92 37.55 100.00	
C4=Pays étrangers	0 0.00 0.00	2 1.02 100.00	2 0.82 100.00	
R.Alpes sauf Loire	10 20.83 12.20	72 36.55 87.80	82 33.47 100.00	
ENSEMBLE	48 100.00 19.59	197 100.00 80.41	245 100.00 100.00	

KHI2 = 25.48 / 3 DEGRES DE LIBERTE / 2 EFFECTIFS THEORIQUES INFERIEURS A 5
 PROBA (KHI2 > 25.48) = 0.000 / V.TEST = 4.22

Tableau 74 : Connaissance du concept de facteur 4 et mode de réception du questionnaire.

TABLEAU 8 EN LIGNE : Q1) biais				POIDS TOTAL : 249.
EN COLONNE : Q10) entendu parlé du facteur 4 ?				
POIDS	C32=Facteur	C32=Facteur	ENSEMBLE	
% COLONNE				
% LIGNE	4 (Non)	4 (Oui)		
C1=Autre	14 29.17 22.95	47 23.38 77.05	61 24.50 100.00	
C1=Construction21	3 6.25 42.86	4 1.99 57.14	7 2.81 100.00	
C1=EnviroBAT	1 2.08 6.25	15 7.46 93.75	16 6.43 100.00	
C1=Mailing	21 43.75 16.94	103 51.24 83.06	124 49.80 100.00	
C1=Négawatt	9 18.75 32.14	19 9.45 67.86	28 11.24 100.00	
C1=VAD	0 0.00 0.00	13 6.47 100.00	13 5.22 100.00	
ENSEMBLE	48 100.00 19.28	201 100.00 80.72	249 100.00 100.00	

KHI2 = 11.30 / 5 DEGRES DE LIBERTE / 3 EFFECTIFS THEORIQUES INFERIEURS A 5
 PROBA (KHI2 > 11.30) = 0.046 / V.TEST = 1.69

Tableau 75 : Acteurs et partages des problématiques

TABLEAU 2 EN LIGNE : Q2) Vous-êtes 2 ? POIDS TOTAL : 248.

EN COLONNE : Q6) Problématiques partagées					
POIDS		C11=Tous	C11=Une majo	C11=Une mino	ENSEMBLE
% COLONNE	% LIGNE		rité	rité	
C3=Autre		0	7	7	14
		0.00	5.79	5.79	5.65
		0.00	50.00	50.00	100.00
C3=Cons,aide, form		2	27	33	62
		33.33	22.31	27.27	25.00
		3.23	43.55	53.23	100.00
C3=Enseig/Rech		0	4	3	7
		0.00	3.31	2.48	2.82
		0.00	57.14	42.86	100.00
C3=Entreprise		0	18	15	33
		0.00	14.88	12.40	13.31
		0.00	54.55	45.45	100.00
C3=Gest/utili		0	4	4	8
		0.00	3.31	3.31	3.23
		0.00	50.00	50.00	100.00
C3=M0		1	26	20	47
		16.67	21.49	16.53	18.95
		2.13	55.32	42.55	100.00
C3=Moe		3	35	39	77
		50.00	28.93	32.23	31.05
		3.90	45.45	50.65	100.00
ENSEMBLE		6	121	121	248
		100.00	100.00	100.00	100.00
		2.42	48.79	48.79	100.00

KHI2 = 4.46 / 12 DEGRES DE LIBERTE / 11 EFFECTIFS THEORIQUES INFERIEURS A 5
 PROBA (KHI2 > 4.46) = 0.974 / V.TEST = -1.94

Tableau 76 : Compétences et partage des problématiques

TABLEAU 3 EN LIGNE : Q9) informations et compétences nécessaires POIDS TOTAL : 244.

EN COLONNE : Q6) Problématiques partagées					
POIDS		C11=Tous	C11=Une majo	C11=Une mino	ENSEMBLE
% COLONNE	% LIGNE		rité	rité	
Info+compét (Non)		1	37	29	67
		16.67	31.36	24.17	27.46
		1.49	55.22	43.28	100.00
Info+compét (Oui)		5	81	91	177
		83.33	68.64	75.83	72.54
		2.82	45.76	51.41	100.00
ENSEMBLE		6	118	120	244
		100.00	100.00	100.00	100.00
		2.46	48.36	49.18	100.00

KHI2 = 1.90 / 2 DEGRES DE LIBERTE / 2 EFFECTIFS THEORIQUES INFERIEURS A 5
 PROBA (KHI2 > 1.90) = 0.386 / V.TEST = 0.29

Tableau 77 : Localisation et partage de la problématique

TABLEAU 11 EN LIGNE : Q2 bis) Localisation					POIDS TOTAL : 244.
EN COLONNE : Q6) Problématiques partagées					
POIDS	C11=Tous	C11=Une majo	C11=Une mino	ENSEMBLE	
% COLONNE					
% LIGNE		rité	rité		
	0	24	45	69	
Autres départements	0.00	20.34	37.50	28.28	
	0.00	34.78	65.22	100.00	
	3	51	38	92	
C4=Loire	50.00	43.22	31.67	37.70	
	3.26	55.43	41.30	100.00	
	0	1	1	2	
C4=Pays étrangers	0.00	0.85	0.83	0.82	
	0.00	50.00	50.00	100.00	
	3	42	36	81	
R.Alpes sauf Loire	50.00	35.59	30.00	33.20	
	3.70	51.85	44.44	100.00	
	6	118	120	244	
ENSEMBLE	100.00	100.00	100.00	100.00	
	2.46	48.36	49.18	100.00	

KHI2 = 11.42 / 6 DEGRES DE LIBERTE / 6 EFFECTIFS THEORIQUES INFERIEURS A 5
 PROBA (KHI2 > 11.42) = 0.076 / V.TEST = 1.43

Tableau 78 : Perception des niveaux de performance des RT dans le bâti existant et localisation des acteurs

TABLEAU 48 EN LIGNE : Q2 bis) Localisation					POIDS TOTAL : 233.
EN COLONNE : Q17) niveaux de performance RT existant					
POIDS	C48=RT exi (C48=RT exi (ENSEMBLE		
% COLONNE					
% LIGNE	Insuf)	Suffi)			
	45	19	64		
Autres départements	30.00	22.89	27.47		
	70.31	29.69	100.00		
	41	47	88		
C4=Loire	27.33	56.63	37.77		
	46.59	53.41	100.00		
	2	0	2		
C4=Pays étrangers	1.33	0.00	0.86		
	100.00	0.00	100.00		
	62	17	79		
R.Alpes sauf Loire	41.33	20.48	33.91		
	78.48	21.52	100.00		
	150	83	233		
ENSEMBLE	100.00	100.00	100.00		
	64.38	35.62	100.00		

KHI2 = 21.08 / 3 DEGRES DE LIBERTE / 2 EFFECTIFS THEORIQUES INFERIEURS A 5
 PROBA (KHI2 > 21.08) = 0.000 / V.TEST = 3.72

Tableau 79 : Perception de l'architecte selon la localisation des acteurs

TABLEAU 12 EN LIGNE : Q2 bis) Localisation					POIDS TOTAL : 240.
EN COLONNE : Q7) Archi M, F, N					
POIDS	C12=Freins A	C12=Moteurs	C12=Neutres	ENSEMBLE	
% COLONNE					
% LIGNE	rch	Arch	Arch		
Autres départements	15	33	20	68	
	37.50	22.60	37.04	28.33	
	22.06	48.53	29.41	100.00	
C4=Loire	10	67	14	91	
	25.00	45.89	25.93	37.92	
	10.99	73.63	15.38	100.00	
C4=Pays étrangers	0	2	0	2	
	0.00	1.37	0.00	0.83	
	0.00	100.00	0.00	100.00	
R.Alpes sauf Loire	15	44	20	79	
	37.50	30.14	37.04	32.92	
	18.99	55.70	25.32	100.00	
ENSEMBLE	40	146	54	240	
	100.00	100.00	100.00	100.00	
	16.67	60.83	22.50	100.00	

KHI2 = 12.74 / 6 DEGRES DE LIBERTE / 3 EFFECTIFS THEORIQUES INFERIEURS A 5
 PROBA (KHI2 > 12.74) = 0.047 / V.TEST = 1.67

Tableau 80 : Perception des Bailleur sociaux selon la localisation des acteurs

TABLEAU 14 EN LIGNE : Q2 bis) Localisation					POIDS TOTAL : 238.
EN COLONNE : Q7) BS MFN					
POIDS	C14=Freins B	C14=Moteurs	C14=Neutres	ENSEMBLE	
% COLONNE					
% LIGNE	S	BS	BS		
Autres départements	18	33	18	69	
	45.00	24.44	28.57	28.99	
	26.09	47.83	26.09	100.00	
C4=Loire	13	44	32	89	
	32.50	32.59	50.79	37.39	
	14.61	49.44	35.96	100.00	
C4=Pays étrangers	2	0	0	2	
	5.00	0.00	0.00	0.84	
	100.00	0.00	0.00	100.00	
R.Alpes sauf Loire	7	58	13	78	
	17.50	42.96	20.63	32.77	
	8.97	74.36	16.67	100.00	
ENSEMBLE	40	135	63	238	
	100.00	100.00	100.00	100.00	
	16.81	56.72	26.47	100.00	

KHI2 = 28.47 / 6 DEGRES DE LIBERTE / 3 EFFECTIFS THEORIQUES INFERIEURS A 5
 PROBA (KHI2 > 28.47) = 0.000 / V.TEST = 3.79

Tableau 81 : Perception des établissements publics selon la localisation des acteurs

TABLEAU 21 EN LIGNE : Q2 bis) Localisation					POIDS TOTAL : 245.
EN COLONNE : Q7) EP MFN					
POIDS	C21=Freins E	C21=Moteurs	C21=Neutres	ENSEMBLE	
% COLONNE					
% LIGNE	P	EP	EP		
Autres départements	5 62.50 7.25	45 23.20 65.22	19 44.19 27.54	69 28.16 100.00	
C4=Loire	1 12.50 1.09	78 40.21 84.78	13 30.23 14.13	92 37.55 100.00	
C4=Pays étrangers	0 0.00 0.00	2 1.03 100.00	0 0.00 0.00	2 0.82 100.00	
R.Alpes sauf Loire	2 25.00 2.44	69 35.57 84.15	11 25.58 13.41	82 33.47 100.00	
ENSEMBLE	8 100.00 3.27	194 100.00 79.18	43 100.00 17.55	245 100.00 100.00	

KHI2 = 13.03 / 6 DEGRES DE LIBERTE / 6 EFFECTIFS THEORIQUES INFERIEURS A 5
 PROBA (KHI2 > 13.03) = 0.042 / V.TEST = 1.72

Tableau 82 : Perception des fédérations du bâtiment selon la localisation des acteurs

TABLEAU 22 EN LIGNE : Q2 bis) Localisation					POIDS TOTAL : 238.
EN COLONNE : Q7) FB MFN					
POIDS	C22=Freins F	C22=Moteurs	C22=Neutres	ENSEMBLE	
% COLONNE					
% LIGNE	B	FB	FB		
Autres départements	6 35.29 8.82	27 20.45 39.71	35 39.33 51.47	68 28.57 100.00	
C4=Loire	2 11.76 2.22	56 42.42 62.22	32 35.96 35.56	90 37.82 100.00	
C4=Pays étrangers	0 0.00 0.00	1 0.76 50.00	1 1.12 50.00	2 0.84 100.00	
R.Alpes sauf Loire	9 52.94 11.54	48 36.36 61.54	21 23.60 26.92	78 32.77 100.00	
ENSEMBLE	17 100.00 7.14	132 100.00 55.46	89 100.00 37.39	238 100.00 100.00	

KHI2 = 15.94 / 6 DEGRES DE LIBERTE / 4 EFFECTIFS THEORIQUES INFERIEURS A 5
 PROBA (KHI2 > 15.94) = 0.014 / V.TEST = 2.20

Annexe 5 : Données de l'Analyse des Correspondances Multiples : Les professionnels du bâtiment

Tableau 83 : Les freins et les acteurs : AFCM

DESCRIPTION DE PARTITION(S)									
DESCRIPTION DE LA Coupure 'a' de l'arbre en 2 classes									
CARACTERISATION DES CLASSES PAR LES MODALITES									
□									
CARACTERISATION PAR LES MODALITES DES CLASSES OU MODALITES									
DE Coupure 'a' de l'arbre en 2 classes									
CLASSE 1 / 2									
V.TEST	PROBA	----	POURCENTAGES	----	MODALITES			IDEN	POIDS
		CLA/MOD	MOD/CLA	GLOBAL	CARACTERISTIQUES	DES VARIABLES			
				66.46	CLASSE 1 / 2				
4.71	0.000	90.74	44.95	32.93	C3=Moe	Q2) Vous-êtes 2 ?		aa1a	109
2.63	0.004	82.61	34.86	28.05	C70=Freins Régl 5	Q29) importance Freins Régl		AC_7	54
2.58	0.005	83.33	32.11	25.61	C68=Freins tech 1	Q29) importance Freins tech		CR_5	46
2.42	0.008	78.69	44.04	37.20	C70=Freins Régl 4	Q29) importance Freins Régl		CP_1	42
1.71	0.044	83.33	18.35	14.63	C3=Entreprise	Q2) Vous-êtes 2 ?		CR_4	61
1.45	0.074	77.78	25.69	21.95	C68=Freins tech 2	Q29) importance Freins tech		AC_4	24
1.32	0.093	77.14	24.77	21.34	C69=Freins Fin 3	Q29) importance Freins tech		CP_2	36
1.26	0.104	73.68	38.53	34.76	C71=Freins Comp 5	Q29) importance Freins Fin		CQ_3	35
0.69	0.247	71.15	33.94	31.71	C69=Freins Fin 4	Q29) importance Freins Comp 5		CS_5	57
0.64	0.263	76.47	11.93	10.37	C68=Freins tech 5	Q29) importance Freins Fin		CQ_4	52
0.45	0.325	70.21	30.28	28.66	C71=Freins Comp 4	Q29) importance Freins tech		CP_5	17
0.11	0.455	80.00	3.67	3.05	C3=Enseig/Rech	Q29) importance Freins Comp 4		CS_4	47
-0.81	0.210	40.00	1.83	3.05	C71=Freins Comp 1	Q2) Vous-êtes 2 ?		AC_3	5
-1.23	0.110	25.00	0.92	2.44	C3=Gest/utilli	Q29) importance Freins Comp 1		CS_1	5
-1.24	0.108	60.29	37.61	41.46	C69=Freins Fin 5	Q2) Vous-êtes 2 ?		AC_5	4
-1.36	0.087	55.56	18.35	21.95	C70=Freins Régl 3	Q29) importance Freins Fin		CQ_5	68
-1.37	0.085	37.50	2.75	4.88	C69=Freins Fin 2	Q29) importance Freins Régl		CR_3	36
-1.41	0.080	54.55	16.51	20.12	C68=Freins tech 4	Q29) importance Freins Fin		CQ_2	8
-1.52	0.064	55.81	22.02	26.22	C3=Cons,aide, form	Q29) importance Freins tech		CP_4	33
-1.71	0.044	20.00	0.92	3.05	C70=Freins Régl 1	Q2) Vous-êtes 2 ?		AC_2	43
-2.76	0.003	25.00	2.75	7.32	C71=Freins Comp 2	Q29) importance Freins Régl		CR_1	5
-2.86	0.002	12.50	0.92	4.88	C3=Autre	Q29) importance Freins Comp 2		CS_2	12
-2.99	0.001	38.46	9.17	15.85	C3=M0	Q2) Vous-êtes 2 ?		AC_1	8
-3.30	0.000	41.67	13.76	21.95	C68=Freins tech 3	Q2) Vous-êtes 2 ?		AC_6	26
-4.45	0.000	12.50	1.83	9.76	C70=Freins Régl 2	Q29) importance Freins tech		CP_3	36
						Q29) importance Freins Régl		CR_2	16
CLASSE 2 / 2									
V.TEST	PROBA	----	POURCENTAGES	----	MODALITES			IDEN	POIDS
		CLA/MOD	MOD/CLA	GLOBAL	CARACTERISTIQUES	DES VARIABLES			
				33.54	CLASSE 2 / 2				
4.45	0.000	87.50	25.45	9.76	C70=Freins Régl 2	Q29) importance Freins Régl		aa2a	55
3.30	0.000	58.33	38.18	21.95	C68=Freins tech 3	Q29) importance Freins tech		CR_2	16
2.99	0.001	61.54	29.09	15.85	C3=M0	Q29) importance Freins tech		CP_3	36
2.86	0.002	87.50	12.73	4.88	C3=Autre	Q2) Vous-êtes 2 ?		AC_6	26
2.76	0.003	75.00	16.36	7.32	C71=Freins Comp 2	Q2) Vous-êtes 2 ?		AC_1	8
1.71	0.044	80.00	7.27	3.05	C70=Freins Régl 1	Q29) importance Freins Comp 2		CS_2	12
1.52	0.064	44.19	34.55	26.22	C3=Cons,aide, form	Q29) importance Freins Régl		CR_1	5
1.41	0.080	45.45	27.27	20.12	C68=Freins tech 4	Q2) Vous-êtes 2 ?		AC_2	43
1.37	0.085	62.50	9.09	4.88	C69=Freins Fin 2	Q29) importance Freins tech		CP_4	33
1.36	0.087	44.44	29.09	21.95	C70=Freins Régl 3	Q29) importance Freins Fin		CQ_2	8
1.24	0.108	39.71	49.09	41.46	C69=Freins Fin 5	Q29) importance Freins Régl		CR_3	36
1.23	0.110	75.00	5.45	2.44	C3=Gest/utilli	Q29) importance Freins Régl		CQ_5	68
0.81	0.210	60.00	5.45	3.05	C71=Freins Comp 1	Q29) importance Freins Fin		CP_5	17
-0.11	0.455	20.00	1.82	3.05	C3=Enseig/Rech	Q2) Vous-êtes 2 ?		CQ_4	52
-0.45	0.325	29.79	25.45	28.66	C71=Freins Comp 4	Q29) importance Freins Comp 1		CS_5	57
-0.64	0.263	23.53	7.27	10.37	C68=Freins tech 5	Q29) importance Freins Fin		CS_4	47
-0.69	0.247	28.85	27.27	31.71	C69=Freins Fin 4	Q29) importance Freins tech		CP_5	17
-1.26	0.104	26.32	27.27	34.76	C71=Freins Comp 5	Q29) importance Freins Régl		CQ_5	68
-1.32	0.093	22.86	14.55	21.34	C69=Freins Fin 3	Q29) importance Freins Régl		CR_5	46
-1.45	0.074	22.22	14.55	21.95	C68=Freins tech 2	Q29) importance Freins Régl		AC_7	54
-1.71	0.044	16.67	7.27	14.63	C3=Entreprise	Q2) Vous-êtes 2 ?			
-2.42	0.008	21.31	23.64	37.20	C70=Freins Régl 4	Q29) importance Freins tech			
-2.58	0.005	16.67	12.73	25.61	C68=Freins tech 1	Q29) importance Freins Régl			
-2.63	0.004	17.39	14.55	28.05	C70=Freins Régl 5	Q29) importance Freins tech			
-4.71	0.000	9.26	9.09	32.93	C3=Moe	Q2) Vous-êtes 2 ?			

Tableau 84 : Acteurs et visions du système et de l'acceptation des objectifs : AFCM

DESCRIPTION DE PARTITION(S)									
DESCRIPTION DE LA Coupure 'a' de l'arbre en 2 classes									
CARACTERISATION DES CLASSES PAR LES MODALITES									
□									
CARACTERISATION PAR LES MODALITES DES CLASSES OU MODALITES									
DE Coupure 'a' de l'arbre en 2 classes									
CLASSE 1 / 2									
V.TEST	PROBA	---- POURCENTAGES ----			MODALITES			IDEN	POIDS
		CLA/MOD	MOD/CLA	GLOBAL	CARACTERISTIQUES	DES VARIABLES			
				79.21	CLASSE 1 / 2				
5.57	0.000	98.63	45.00	36.14	C20=Freins SO	Q7) SO MFN	aala	160	
5.13	0.000	94.68	55.63	46.53	C23=Neutres GB	Q7) GB MFN	AT_1	73	
4.94	0.000	95.29	50.63	42.08	C19=Freins GO	Q7) GO MFN	AW_3	94	
4.32	0.000	93.90	48.13	40.59	C15=Neutres BE	Q7) BE MFN	AS_1	85	
4.25	0.000	93.83	47.50	40.10	C22=Neutres FB	Q7) FB MFN	A0_3	82	
3.78	0.000	91.86	49.38	42.57	C25=Freins SC	Q7) SC MFN	AV_3	81	
3.57	0.000	97.67	26.25	21.29	C12=Neutres Arch	Q7) Archi M, F, N	AY_1	86	
3.21	0.001	89.36	52.50	46.53	C16=Neutres Ch	Q8) Ch MFN	AL_3	43	
3.06	0.001	94.12	30.00	25.25	C24=Freins Ind	Q7) Ind MFN	AP_3	94	
3.05	0.001	88.24	56.25	50.50	C11=Une minorité	Q6) Problématiques partagées	AX_1	51	
2.89	0.002	97.06	20.63	16.83	C14=Freins BS	Q7) BS MFN	AK_3	102	
2.88	0.002	89.29	46.88	41.58	C26=Neutres Loc	Q7) Loc MFN	AN_1	34	
2.86	0.002	91.80	35.00	30.20	C16=Freins Ch	Q8) Ch MFN	AZ_3	84	
2.79	0.003	90.91	37.50	32.67	C17=Neutres Col	Q7) Col MFN	AP_1	61	
2.79	0.003	91.67	34.38	29.70	C26=Freins Loc	Q7) Loc MFN	AQ_3	66	
2.77	0.003	87.04	58.75	53.47	C18=Neutres Eco	Q7) Eco MFN	AZ_1	60	
2.76	0.003	95.00	23.75	19.80	C23=Freins GB	Q7) GB MFN	AR_3	108	
2.73	0.003	89.02	45.63	40.59	C27=Neutres Pol	Q7) Pol MFN	AW_1	40	
2.70	0.003	88.04	50.63	45.54	C28=Freins EF	Q7) EF MFN	BA_3	82	
2.45	0.007	94.44	21.25	17.82	C21=Neutres EP	Q7) EP MFN	BB_1	92	
2.35	0.009	100.00	11.88	9.41	C15=Freins BE	Q7) BE MFN	AU_3	36	
2.28	0.011	91.49	26.88	23.27	C18=Freins Eco	Q7) Eco MFN	AO_1	19	
2.17	0.015	87.84	40.63	36.63	C24=Neutres Ind	Q7) Ind MFN	AR_1	47	
1.83	0.034	100.00	8.75	6.93	C22=Freins FB	Q7) FB MFN	AX_3	74	
1.81	0.035	91.43	20.00	17.33	C27=Freins Pol	Q7) Pol MFN	AV_1	14	
1.62	0.053	84.78	48.75	45.54	C19=Neutres GO	Q7) GO MFN	BA_1	35	
1.55	0.060	84.38	50.63	47.52	C20=Neutres SO	Q7) SO MFN	AS_3	92	
1.29	0.099	86.96	25.00	22.77	C13=Neutres AMO	Q7) AMO MFN	AT_3	96	
0.98	0.163	86.49	20.00	18.32	C12=Freins Arch	Q7) Archi M, F, N	AM_3	46	
0.88	0.190	100.00	4.38	3.47	C2=AMO	Q2) Vous-êtes ?	AL_1	37	
0.83	0.204	92.31	7.50	6.44	C17=Freins Col	Q7) Col MFN	AB_1	7	
0.75	0.228	83.64	28.75	27.23	C14=Neutres BS	Q7) BS MFN	AQ_1	13	
0.70	0.242	100.00	3.75	2.97	C2=Cherch	Q2) Vous-êtes ?	AN_3	55	
0.68	0.248	82.28	40.63	39.11	C28=Neutres EF	Q7) EF MFN	AE_6	6	
0.64	0.262	81.72	47.50	46.04	C25=Neutres SC	Q7) SC MFN	BB_3	79	
0.50	0.308	100.00	3.13	2.48	C13=Freins AMO	Q7) AMO MFN	AY_3	93	
0.43	0.334	82.14	28.75	27.72	Info+compét (Non)	Q9) informations et compétences nécessaires	AM_1	5	
0.40	0.346	90.00	5.63	4.95	C2=SR	Q2) Vous-êtes ?	BE_1	56	
-0.13	0.447	71.43	3.13	3.47	C2=BS	Q2) Vous-êtes ?	AB26	10	
-0.74	0.229	77.46	68.75	70.30	Info+compét (Oui)	Q9) informations et compétences nécessaires	AE_5	7	
-0.99	0.161	70.97	13.75	15.35	C2=Arch	Q2) Vous-êtes ?	BE_2	142	
-1.20	0.115	66.67	8.75	10.40	C2=Col	Q2) Vous-êtes ?	AB_2	31	
-1.25	0.106	50.00	1.88	2.97	C2=FB	Q2) Vous-êtes ?	AB_7	21	
-1.68	0.046	76.16	71.88	74.75	C13=Moteurs AMO	Q7) AMO MFN	AB15	6	
-2.46	0.007	75.47	75.00	78.71	C21=Moteurs EP	Q7) EP MFN	AM_2	151	
-2.85	0.002	71.68	50.63	55.94	C14=Moteurs BS	Q7) BS MFN	AU_2	159	
-3.05	0.001	69.47	41.25	47.03	C11=Une majorité	Q6) Problématiques partagées	AN_2	113	
-3.30	0.000	71.54	55.00	60.89	C17=Moteurs Col	Q7) Col MFN	AK_2	95	
-3.77	0.000	70.49	53.75	60.40	C12=Moteurs Arch	Q7) Archi M, F, N	AQ_2	123	
-4.15	0.000	64.71	34.38	42.08	C27=Moteurs Pol	Q7) Pol MFN	AL_2	122	
-4.44	0.000	45.16	8.75	15.35	C28=Moteurs EF	Q7) EF MFN	BA_2	85	
-4.77	0.000	61.04	29.38	38.12	C24=Moteurs Ind	Q7) Ind MFN	BB_2	31	
-5.20	0.000	65.42	43.75	52.97	C22=Moteurs FB	Q7) FB MFN	AX_2	77	
-5.30	0.000	48.94	14.38	23.27	C18=Moteurs Eco	Q7) Eco MFN	AV_2	107	
-5.62	0.000	63.37	40.00	50.00	C15=Moteurs BE	Q7) BE MFN	AR_2	47	
-5.68	0.000	51.72	18.75	28.71	C26=Moteurs Loc	Q7) Loc MFN	A0_2	101	
-6.21	0.000	21.74	3.13	11.39	C25=Moteurs SC	Q7) SC MFN	AZ_2	58	
-6.43	0.000	42.55	12.50	23.27	C16=Moteurs Ch	Q8) Ch MFN	AY_2	23	
-7.37	0.000	48.53	20.63	33.66	C23=Moteurs GB	Q7) GB MFN	AP_2	47	
-7.95	0.000	21.21	4.38	16.34	C20=Moteurs SO	Q7) SO MFN	AW_2	68	
-8.76	0.000	4.00	0.63	12.38	C19=Moteurs GO	Q7) GO MFN	AT_2	33	
							AS_2	25	
□									
CLASSE 2 / 2									
V.TEST	PROBA	---- POURCENTAGES ----			MODALITES			IDEN	POIDS
		CLA/MOD	MOD/CLA	GLOBAL	CARACTERISTIQUES	DES VARIABLES			
				20.79	CLASSE 2 / 2				
8.76	0.000	96.00	57.14	12.38	C19=Moteurs GO	Q7) GO MFN	aa2a	42	
7.95	0.000	78.79	61.90	16.34	C20=Moteurs SO	Q7) SO MFN	AS_2	25	
7.38	0.000	51.47	83.33	33.66	C23=Moteurs GB	Q7) GB MFN	AT_2	33	
6.43	0.000	57.45	64.29	23.27	C16=Moteurs Ch	Q8) Ch MFN	AW_2	68	
6.21	0.000	78.26	42.86	11.39	C25=Moteurs SC	Q7) SC MFN	AP_2	47	
5.68	0.000	48.28	66.67	28.71	C26=Moteurs Loc	Q7) Loc MFN	AY_2	23	
5.62	0.000	36.63	88.10	50.00	C15=Moteurs BE	Q7) BE MFN	AZ_2	58	
5.30	0.000	51.06	57.14	23.27	C18=Moteurs Eco	Q7) Eco MFN	AQ_2	101	
5.20	0.000	34.58	88.10	52.97	C22=Moteurs FB	Q7) FB MFN	AR_2	47	
							AV_2	107	

4.77	0.000	38.96	71.43	38.12	C24=Moteurs Ind	Q7) Ind MFN	AX_2	77
4.44	0.000	54.84	40.48	15.35	C28=Moteurs EF	Q7) EF MFN	BE_2	31
4.15	0.000	35.29	71.43	42.08	C27=Moteurs Pol	Q7) Pol MFN	BA_2	85
3.77	0.000	29.51	85.71	60.40	C12=Moteurs Arch	Q7) Archi M, F, N	AL_2	122
3.30	0.000	28.46	83.33	60.89	C17=Moteurs Col	Q7) Col MFN	AQ_2	123
3.05	0.001	30.53	69.05	47.03	C11=Une majorité	Q6) Problématiques partagées	AK_2	95
2.85	0.002	28.32	76.19	55.94	C14=Moteurs BS	Q7) BS MFN	AN_2	113
2.46	0.007	24.53	92.86	78.71	C21=Moteurs EP	Q7) EP MFN	AU_2	159
1.68	0.046	23.84	85.71	74.75	C13=Moteurs AMO	Q7) AMO MFN	AM_2	151
1.25	0.106	50.00	7.14	2.97	C2=FB	Q2) Vous-êtes ?	AB15	6
1.20	0.115	33.33	16.67	10.40	C2=Col	Q2) Vous-êtes ?	AB_7	21
0.99	0.161	29.03	21.43	15.35	C2=Arch	Q2) Vous-êtes ?	AB_2	31
0.74	0.229	22.54	76.19	70.30	Info+compét (Oui)	Q9) informations et compétences nécessaires	BE_2	142
0.13	0.447	28.57	4.76	3.47	C2=BS	Q2) Vous-êtes ?	AB_5	7
-0.40	0.346	10.00	2.38	4.95	C2=SR	Q2) Vous-êtes ?	AB26	10
-0.43	0.334	17.86	23.81	27.72	Info+compét (Non)	Q9) informations et compétences nécessaires	BE_1	56
-0.50	0.308	0.00	0.00	2.48	C13=Freins AMO	Q7) AMO MFN	AM_1	5
-0.64	0.262	18.28	40.48	46.04	C25=Neutres SC	Q7) SC MFN	AY_3	93
-0.68	0.248	17.72	33.33	39.11	C28=Neutres EF	Q7) EF MFN	BB_3	79
-0.70	0.242	0.00	0.00	2.97	C2=Cherch	Q2) Vous-êtes ?	AB_6	6
-0.75	0.228	16.36	21.43	27.23	C14=Neutres BS	Q7) BS MFN	AN_3	55
-0.83	0.204	7.69	2.38	6.44	C17=Freins Col	Q7) Col MFN	AQ_1	13
-0.88	0.190	0.00	0.00	3.47	C2=AMO	Q2) Vous-êtes ?	AB_1	7
-0.98	0.163	13.51	11.90	18.32	C12=Freins Arch	Q7) Archi M, F, N	AL_1	37
-1.29	0.099	13.04	14.29	22.77	C13=Neutres AMO	Q7) AMO MFN	AM_3	46
-1.55	0.060	15.63	35.71	47.52	C20=Neutres SO	Q7) SO MFN	AT_3	96
-1.62	0.053	15.22	33.33	45.54	C19=Neutres GO	Q7) GO MFN	AS_3	92
-1.81	0.035	8.57	7.14	17.33	C27=Freins Pol	Q7) Pol MFN	BA_1	35
-1.83	0.034	0.00	0.00	6.93	C22=Freins FB	Q7) FB MFN	AV_1	14
-2.17	0.015	12.16	21.43	36.63	C24=Neutres Ind	Q7) Ind MFN	AX_3	74
-2.28	0.011	8.51	9.52	23.27	C18=Freins Eco	Q7) Eco MFN	AR_1	47
-2.35	0.009	0.00	0.00	9.41	C15=Freins BE	Q7) BE MFN	AU_1	19
-2.45	0.007	5.56	4.76	17.82	C21=Neutres EP	Q7) EP MFN	AU_3	36
-2.70	0.003	11.96	26.19	45.54	C28=Freins EF	Q7) EF MFN	BB_1	92
-2.73	0.003	10.98	21.43	40.59	C27=Neutres Pol	Q7) Pol MFN	BA_3	82
-2.76	0.003	5.00	4.76	19.80	C23=Freins GB	Q7) GB MFN	AW_1	40
-2.77	0.003	12.96	33.33	53.47	C18=Neutres Eco	Q7) Eco MFN	AR_3	108
-2.79	0.003	8.33	11.90	29.70	C26=Freins Loc	Q7) Loc MFN	AZ_1	60
-2.79	0.003	9.09	14.29	32.67	C17=Neutres Col	Q7) Col MFN	AQ_3	66
-2.86	0.002	8.20	11.90	30.20	C16=Freins Ch	Q8) Ch MFN	AP_1	61
-2.88	0.002	10.71	21.43	41.58	C26=Neutres Loc	Q7) Loc MFN	AZ_3	84
-2.89	0.002	2.94	2.38	16.83	C14=Freins BS	Q7) BS MFN	AN_1	34
-3.05	0.001	11.76	28.57	50.50	C11=Une minorité	Q6) Problématiques partagées	AK_3	102
-3.06	0.001	5.88	7.14	25.25	C24=Freins Ind	Q7) Ind MFN	AX_1	51
-3.21	0.001	10.64	23.81	46.53	C16=Neutres Ch	Q8) Ch MFN	AP_3	94
-3.57	0.000	2.33	2.38	21.29	C12=Neutres Arch	Q7) Archi M, F, N	AL_3	43
-3.78	0.000	8.14	16.67	42.57	C25=Freins SC	Q7) SC MFN	AY_1	86
-4.25	0.000	6.17	11.90	40.10	C22=Neutres FB	Q7) FB MFN	AV_3	81
-4.32	0.000	6.10	11.90	40.59	C15=Neutres BE	Q7) BE MFN	AU_3	82
-4.94	0.000	4.71	9.52	42.08	C19=Freins GO	Q7) GO MFN	AS_1	85
-5.13	0.000	5.32	11.90	46.53	C23=Neutres GB	Q7) GB MFN	AW_3	94
-5.57	0.000	1.37	2.38	36.14	C20=Freins SO	Q7) SO MFN	AT_1	73

Annexe 6 : Perception des acteurs du bâtiment par les répondants à la question 7 du questionnaire.

	"Freins"	"Neutres"	"Moteurs"
(SC) Les Syndics de copropriétés	44%	45%	11%
(GO) Les Entreprises du bâtiment (Gros Œuvre)	44%	44%	11%
(EF) Les Etablissements financiers	44%	39%	16%
(SO) Les Entreprises du bâtiment (Second Œuvre)	37%	46%	16%
(Ch) Les Chauffagistes	30%	46%	24%
(Loc) Les Locataires et propriétaires occupants	30%	41%	29%
(Eco) Les Economistes du bâtiment	23%	53%	24%
(Ind) Les Industriels	26%	37%	37%
(GB) Les Gestionnaires de bâtiment	19%	47%	34%
(Pol) Les politiques	18%	40%	43%
(Arch) Les Architectes	20%	24%	56%
(BS) Les Bailleurs sociaux	17%	26%	56%
(BE) Les Bureaux d'études fluides	10%	40%	50%
(FB) Les Fédérations du bâtiment	8%	39%	54%
(Col) Les Collectivités	7%	25%	68%
(AMO) Les AMO	3%	22%	75%
(EP) Les Etablissements publics (ADEME, CSTB, etc.)	3%	18%	79%

Pour chacune des catégories, les réponses des questionnés ayant le même profil que l'acteur à classer ont été enlevées. Par exemple, les perceptions des architectes sur eux-mêmes n'ont pas été comptabilisées.

Annexe 7 : Questionnaire à l'attention des locataires du « Meygal »

Adresse :

Nom :

Etage :

Orientation principale : N ☐ N/E ☐ E ☐ S/E ☐ S ☐ S/W ☐ W ☐ N/W ☐

Ancienneté dans le logement :

Profession et catégorie socio-professionnelle :

Agriculteurs exploitants		Cadres		Employés		Retraités	
Artisans, commerçants, chefs d'entreprise		Professions intermédiaires		Ouvriers		Sans activité	

Situation familiale : célibataire ☐ concubin ☐ marié ☐ divorcé ☐ veuf ☐

Nombres de personnes dans le foyer :

Nombre maximum de personnes ayant vécu au foyer :

Votre Sexe : F H

Votre âge :

Type de chauffage :

	Gaz	Electricité	Fioul	Bois
Individuel				
Collectif				

Type d'Eau Chaude Sanitaire :

	Gaz	Electricité	Fioul	Bois
Individuel				
Collectif				

Chauffage et bâti.

1) A quel moment de la journée êtes-vous dans votre logement ?

		Présence			
		Matin (av 8-9h)	Matinée (9h à 12-13h)	Après midi (13h à 18h)	Soirée (ap 18h)
Lundi - Vendredi					
Week-end	Samedi				
	Dimanche				

2) Estimez-vous que votre logement soit confortable (température) ?

Oui quelle que soit la saison ☐

Oui sauf à certaines périodes (Préciser) ☐

Non ☐

Informations complémentaires

3) Pour vous quel est l'élément le plus important pour que votre logement soit confortable ?

1)

4) Quels sont les 4 autres éléments (hiérarchisés) pour que votre logement soit confortable ?

2)

3)

4)

5)

5) Le système de chauffage par le sol est-il selon vous efficace ?

Plutôt oui ☐

Plutôt Non ☐

NSP ☐

Informations complémentaires

6) Le système de chauffage par le sol a-t-il vocation selon vous à chauffer votre logement ?

Oui totalement ☐

Oui en partie ☐

Non ☐

Informations complémentaires

7) Utilisez-vous un chauffage d'appoint (cocher les pièces concernées) ?

Oui, dans le salon ☐

Oui, dans la cuisine ☐

Oui, dans les chambres (préciser le nombre) ☐

Oui, dans la salle de bain ☐

Non ☐

Informations complémentaires

8) Quel type de chauffage d'appoint utilisez-vous ?

convecteur électrique ☐

radiant électrique ☐

Radiateur à bain d'huile ☐

poêle à pétrole ☐

Autre ☐

Informations complémentaires

9) Quelle est la puissance de votre chauffage d'appoint ?

..... Watts

10) Comment utilisez-vous votre chauffage principal ?

Toute la journée ☐ Pendant les heures de présences ☐

Informations complémentaires

11) Laissez-vous votre chauffage d'appoint allumé lorsque vous n'êtes pas chez-vous ?

Oui mais en baissant le thermostat des radiateurs ☐

Oui sans modifier les thermostats ☐

Non

☐

Informations complémentaires

12) Nettoyez-vous vos radiateurs ?

Oui à chaque ménages

☐

Oui quelques fois par an

☐

Jamais

☐

Informations complémentaires

13) Selon vous sur une échelle de 1 à 5 pensez-vous que votre foyer consomme beaucoup d'énergie ?

1

2

3

4

5

Très sobre

sobre

moyen

énergivore

Très énergivore

Informations complémentaires

14) Quelle serait pour vous la température idéale dans votre logement ?

Le jour°C

La nuit°C

Informations complémentaires

15) Connaissez vous les consignes de température pour le chauffage collectif ?

Oui ☐

Le jour °C

La nuit °C

Non ☐

Informations complémentaires

16) Avez-vous une idée de la température actuelle dans votre logement ? (signaler si thermomètre)

Non ☐

Oui ☐ (température estimée : °C, Température mesurée :°C)

Informations complémentaires

17) Quelle est actuellement votre sensation de confort (température) ?

-3	-2	-1	0	1	2	3
Très froid	Froid	Un peu froid	Confortable	Un peu chaud	Chaud	Très chaud

Informations complémentaires

18) Pensez-vous que des travaux de rénovations thermiques soit nécessaires dans l'immeuble?

Oui ☐

Non ☐

NSP ☐

Informations complémentaires

18 bis) Si oui : Pour vous ces travaux de rénovations ont surtout vocation à (1 choix possible) ?

Réduire la consommation d'énergie pour préserver les ressources ☐

Réduire les impacts sur l'environnement (émissions de CO₂) ☐

Améliorer le confort du logement ☐

Réaliser des économies financières (baisser les charges) ☐

Informations complémentaires

19) Seriez-vous prêts à diminuer la température de chauffe de votre logement ?

Avant la rénovation ?

Oui	De 1°C	<input type="checkbox"/>
	De 2°C	<input type="checkbox"/>
	Plus de 2°C	<input type="checkbox"/>
	Non	<input type="checkbox"/>

Après la rénovation ?

Oui	De 1°C	<input type="checkbox"/>
	De 2°C	<input type="checkbox"/>
	Plus de 2°C	<input type="checkbox"/>
	Non	<input type="checkbox"/>

Informations complémentaires

20) Quelle est, selon vous, la qualité de l'isolation thermique (murs, volets, fenêtres) de votre logement ?

Très bonne	<input type="checkbox"/>
Bonne	<input type="checkbox"/>
Faible	<input type="checkbox"/>
Très faible	<input type="checkbox"/>

Informations complémentaires

21) Dans le cadre de la rénovation prévue quel est pour vous l'élément à réhabiliter en priorité ?

Fenêtre	<input type="checkbox"/>
Isolations des parois	<input type="checkbox"/>
Porte d'entrée	<input type="checkbox"/>
Volets	<input type="checkbox"/>
Système de chauffage	<input type="checkbox"/>

Informations complémentaires

Aspect économiques

22) Pour vous, le prix des charges du au chauffage est-il ?

Très élevé	<input type="checkbox"/>
Elevé	<input type="checkbox"/>
Faible	<input type="checkbox"/>
Très faible	<input type="checkbox"/>

Informations complémentaires

23) Pensez vous que l'investissement des rénovations doit être répercuté sur votre loyer ?

Oui à hauteur des économies d'énergie réalisées	<input type="checkbox"/>
Oui mais moins que les économies d'énergie réalisées	<input type="checkbox"/>
Non pas du tout	<input type="checkbox"/>

Informations complémentaires

Volets et aération

24) Fermez vous les volets de votre logement la nuit ?

Oui dans toutes les pièces	<input type="checkbox"/>
----------------------------	--------------------------

Oui mais uniquement dans les chambres ☐

Non (ouvert partout) ☐

Informations complémentaires

25) Fermez-vous les volets en été durant la journée lorsqu'il fait trop chaud ?

Oui dans toutes les pièces exposées au soleil ☐

Oui mais uniquement dans les pièces exposées au soleil et dans lesquelles je me trouve ☐

Non ☐

Informations complémentaires

26) Laissez-vous certaines fenêtres ouvertes la nuit en été ?

Oui dans toutes les pièces lorsqu'il fait trop chaud ☐

Oui mais uniquement dans les chambres ☐

Non ☐

Informations complémentaires

27) Laissez-vous certaines fenêtres ouvertes la journée en été ?

Oui dans toutes les pièces ☐

Oui pour faire courant d'air mais uniquement dans les pièces où je suis ☐

Non ☐

Informations complémentaires

28) Avez-vous des sensations de froid en hiver ?

Non, mais je ne crains pas le froid ☐

Non ☐

Oui, mais je crains le froid ☐

Oui ☐

Informations complémentaires

29) Adaptez-vous votre habillement intérieur à la saison ?

Oui, je m'habille plus chaudement en hiver plutôt que de chauffer plus ☐

Plutôt oui ☐

Plutôt non ☐

Non, je préfère augmenter le chauffage ☐

Informations complémentaires

30) Avez-vous des sensations de surchauffe en été ?

Non, mais je ne souffre pas de la chaleur ☐

Non ☐

Oui, mais je souffre de la chaleur ☐

Oui ☐

Informations complémentaires

31) Avez-vous un système de climatisation (ventilateur, clim) ?

Oui et je l'utilise souvent ☐

Oui mais je l'utilise rarement ☐

Non ☐

Informations complémentaires

32) Nettoyez-vous vos systèmes de ventilation (aération en cuisine et pièces humides) ?

Souvent ☐

Rarement ☐

Jamais ☐

Informations complémentaires

33) Limitez-vous l'entrée d'air au dessus des fenêtres (entrée d'air calfeutrée) ?

Non ☐

Oui ☐

Si oui pourquoi ?

34) Aérez-vous votre logement ?

Oui tous les jours ☐

Oui quand l'atmosphère est confinée (confort olfactif, fumée) ☐

Non ☐

Informations complémentaires

35) Combien de temps aérez-vous par jour ?

Minute :

Informations complémentaires

36) Question annexe : Seriez-vous pour la fermeture des balcons et la création de jardins d'hiver (logia, Véranda) ?

Oui ☐

Non ☐

Sans opinion ☐

Informations complémentaires

Autres suggestions ou informations

37) Si on vous le demandait, seriez-vous prêt à changer de logement pour un autre plus adapté à la taille de votre famille ?

Oui ☐

Non ☐

Informations complémentaires

38) Souhaitez-vous mettre en avant un problème que je n'aurais pas abordé ?

Annexe 8 : La tour du Meygal : Caractéristiques techniques

➤ Situation et informations sur les logements.



Tour du « MEYGAL »

Le « MEYGAL »

N° 24

Rue Léon BLUM

42100 Saint-Etienne

Année de construction : 1975

	Nombres
Bâtiment de type R+18	1
Nombre de logements type 2	17
Nombre de logements type 3	44
Nombre de logements type 4	37
Nombre de logements type 5	9
Nombre total de logements	107
Superficie des T2	≈ 47 m ²
Superficie des T3	≈ 70 m ²
Superficie des T4	≈ 85 m ²
Superficie des T5	≈ 104 m ²

Nombre total de logements sur les sites d'étude

107

➤ **Caractéristiques techniques et masques projetés.**

L'immeuble du Meygal est constitué majoritairement de béton banché formant l'ossature du bâtiment. Des murs porteurs, d'une épaisseur de 10 à 30 cm, composent le mur extérieur en façade Nord et ressortent sous forme de refends pour les autres orientations, divisant ainsi le bâtiment en sous-parties de forme rectangulaire. En façade Sud, Nord et Est, les murs extérieurs sont majoritairement formés d'une paroi légère composée de fibre végétale (panneaux de bois) et d'un complexe minéral isolant (Figure 99). Toutes les orientations, exceptée la façade Nord possèdent des balcons sur l'ensemble de leur périmètre. Ces balcons, d'une largeur de 1 m, couplés aux refends constituent un masque solaire protégeant les logements d'un rayonnement intense en période estivale.

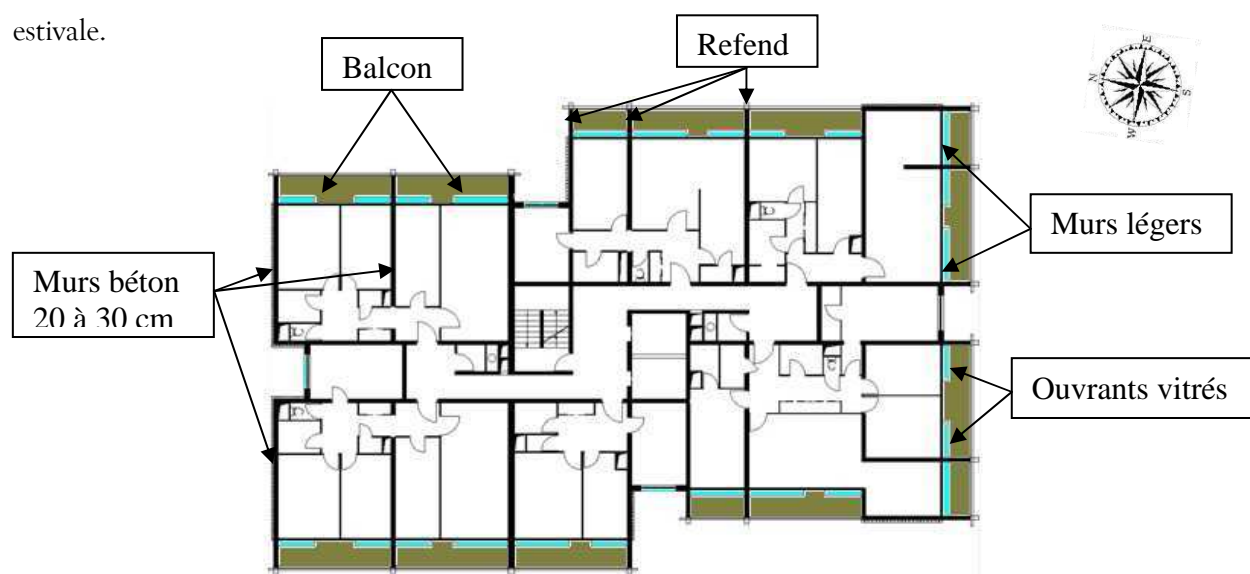


Figure 99: Représentation schématique d'un niveau de la tour du Meygal.

Les ouvrants vitrés coulissants sont composés d'une huisserie en aluminium fixant un double vitrage 4-6-4. Les surfaces vitrées ainsi présentées totalisent une surface de près de 2250 m² majoritairement répartie sur les façades Est, Sud et Ouest. Les données techniques des parois vitrées et opaques comprenant la toiture terrasse et les planchers (bas et intermédiaires) sont présentées dans le Tableau 85 ci-dessous.

Tableau 85: Caractéristiques techniques des principaux composants du Meygal.

Parois	Compositions	U (W/m².K)
Murs extérieurs	- Béton lourd de 20 cm isolé par 10 cm de polystyrène	0,36
	- Bois aggloméré isolé par 10 cm d'équivalent laine de verre.	0,38
Toiture	- Dalle béton isolée par 6 cm de polyuréthane et 7 cm de graviers	0,46
Plancher bas	- Plancher Béton de 20 cm d'épaisseur	9,1
Plancher intermédiaire	- Plancher Béton de 20 cm d'épaisseur	9,1
Vitrage	- Fenêtre en aluminium 4-6-4	3,74

Etant situé en zone urbaine, et à proximité de reliefs de moyenne montagne (massif du Pilat), le bâtiment est assujéti à la présence de masques lointains et proches. Les masques lointains, principalement les reliefs environnants ne dépassent jamais une hauteur angulaire de 5° et ce quelque soit l'azimut observé. En revanche, la présence de deux complexes d'immeubles entre l'azimut -60° et 60° réduit de façon significative les apports solaires entre les mois de Septembre et d'Avril pour les logements d'orientation Sud-Est et Nord-Ouest. Ces masques proches, bien qu'influençant les apports passifs en période hivernale (Hauteur angulaire inférieure à 45 °C) ne réduisent en aucune façon les apports estivaux et ce, quelque soit l'azimut observé (Figure 100).

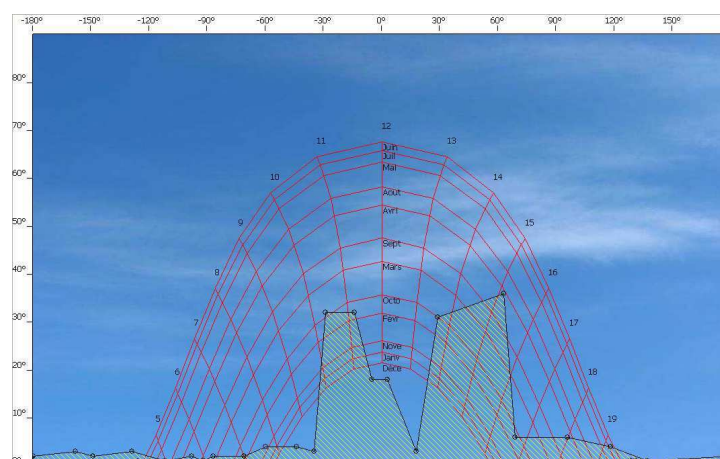


Figure 100 : Masques proches et lointains influençant les apports solaires sur le site du Meygal.

Les apports directs solaires sont cependant réduits de par la présence de masques intégrés formés par les refends et les balcons. Ces masques octroyant une protection d'une largeur de 1m réduisent les apports zénithaux des logements situés au Sud. Au niveau de la performance énergétique globale du bâti, la présence de refends en quantité non négligeable entraîne un affaiblissement de la conductance des parois, contribuant aux déperditions d'énergie.

Annexe 9 : Les Echos et les Suzannes : caractéristiques techniques.

➤ Situation et informations sur les logements.



Les « ECHOS » N° 1 à 13 Cité de l'Echo 42700 Firminy		Les « SUZANNES » N°1 Chemin des Suzannes 42700 Firminy	
Année de construction : années 50		Année de construction : années 50	
	Nombres		Nombres
Bâtiments de type R+3	2	Bâtiment de type R+1	1
Types de logements par bâtiment R+3	10 T3 / 6 T4	Types de logements par bâtiment R+1	12 T4
Bâtiment sde type R+2	9		
Types de logements par bâtiment R+2	4 T3 / 2 T4		
Nombre total de logements	86	Nombre total de logement s	12
Nombre total de T3	56	Nombre total de T3	0
Superficie des T3	≈ 57 m ²	Superficie des T3	/ m ²
Nombre total de T4	30	Nombre total de T4	12
Superficie des T4	≈ 73 m ²	Superficie des T4	≈ 95 m ²
Nombre total de logements sur le site d'étude			
98			

➤ Caractéristiques techniques et masques projetés

Les bâtiments des Echos, construits dans les années 50 sont formés de 6 logements répartis de façon symétrique de part et d'autre de la cage d'escalier et ce sur les trois étages des Echos R+2 et les 4 étages des Echos R+3. Le bâtiment des Echos R+3 ne diffère que très peu des Echos R+2 dans son schéma constructif. De fait, la forme et la structuration interne des logements sont identiques aux R+2. D'une façon simplifiée, les bâtiments R+3 de la Cité des Echos peuvent être assimilés à deux bâtiments R+2 accolés par un mur mitoyen et auxquels on aurait ajouté un étage supplémentaire.

Le bâtiment des Suzannes, pouvant être divisé en 3 sous-parties identiques de 4 logements (2 par étages), regroupe 12 appartements. Bien que différent par sa forme et son orientation des bâtiments des Echos, les matériaux utilisés sont en grande partie identiques. Ainsi, les murs extérieurs des logements de Firminy sont constitués par un béton de mâchefer d'une épaisseur de 35 cm (les Echos) à 50 cm (Les Suzannes) exempt d'isolant. La toiture à 4 pans est isolée par un complexe de fibre minérale d'une épaisseur de 15 cm dans tous les bâtiments à l'exception des Suzannes. Le plancher bas est quant à lui isolé par un flochage de 6 cm d'épaisseur aux Echos. Les données techniques des parois vitrées et opaques comprenant la toiture terrasse et les planchers (bas et intermédiaires) sont présentées dans le Tableau 86 ci-dessous.

Tableau 86 : Caractéristiques techniques des principaux composants des logements de Firminy.

Parois	Compositions	U (W/m².K)
Murs extérieurs	- Béton de mâchefer de 35 cm non isolé (Echos)	3,57
	- Béton de mâchefer de 50 cm non isolé (Suzannes)	2,56
Toiture	- Comble isolée par 15 cm d'équivalent laine de verre (Echos)	0,25
	- Comble non isolée (Suzannes)	2,86
Plancher bas	- Plancher Béton de mâchefer : 20 cm d'épaisseur (+ 6cm de flochage pour les logements des Echos)	0,60
Plancher intermédiaire	- Plancher Béton de mâchefer : 20 cm d'épaisseur	7,14
Vitrage	- Fenêtre double vitrage PVC	2,36

Les logements des Echos et des Suzannes se situent sur le versant Sud d'une colline située sur la commune de Firminy. La densité urbaine moins élevée que celle de Saint-Etienne, couplée à la faible hauteur des bâtiments environnants permet à l'ensemble des logements de bénéficier d'un ensoleillement « optimum ». Les logements des Echos, du fait de leur orientation (Est-Ouest)

reçoivent cependant une quantité supérieure d'énergie solaire (27 kWh/m²/an) comparée aux Suzannes (Nord-Sud) (18 kWh/m²/an). De fait, et bien qu'une orientation Sud soit généralement préférable pour augmenter les apports solaires, la moitié des surfaces vitrées des Suzannes étant situées au Nord, ces dernières ne contribuent pas au transfert passif du rayonnement solaire direct (Figure 101).

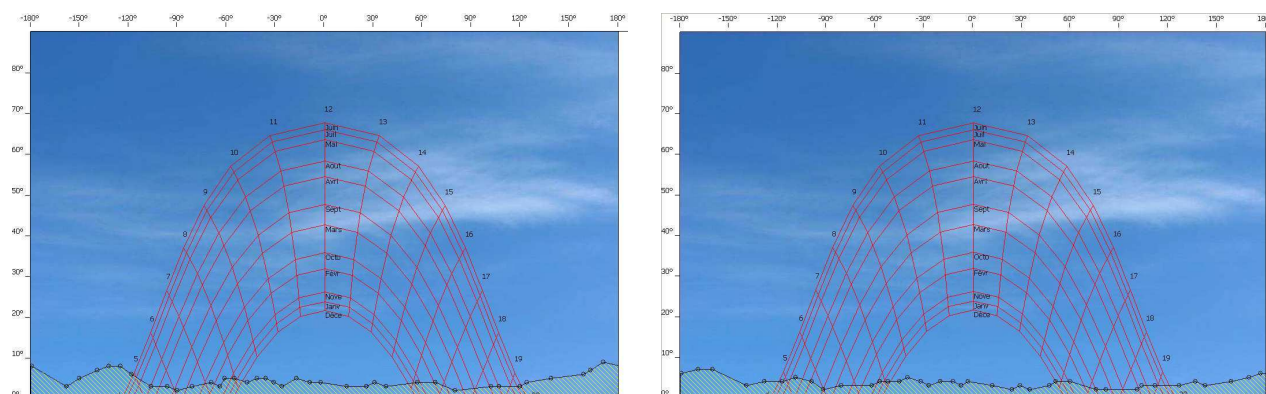


Figure 101 : Masques proches et lointains influençant les apports solaires sur le site des Suzannes (à gauche) et des Echos (à droite).

Annexe 10 : Caractéristiques techniques des appareils utilisés lors des campagnes de mesures.

AMI 300

Datalogger-10

- Enregistrement multi-paramètres
- Stockage manuel ou automatique
- Capacité mémoire de l'appareil 12000 pts ou 50 campagnes de mesure
- Exploitation simple avec édition de rapport personnalisé
- Gestion de votre parc d'instruments et suivi des périodicités d'étalonnage
- Planification des campagnes
- Interface radio ou filaire

• Vue de face

• Vue de profil

HELICE Ø 100 mm

Vitesse	m/s, fpm, Km/h	De 0,25 à 3 m/s De 3,1 à 35 m/s	±3% de la lecture ±0,1m/s ±1% de la lecture ±0,3m/s	0,01 m/s 0,1 m/s
Température	°C, °F	De -20 à +80°C	±0,4% de la lecture ±0,3°C	0,1 °C
Débit	m³/h, cfm, l/s, m³/s	De 0 à 99999 m³/h	±3% de la lecture ±0.03*surface gaine (cm²)	1 m³/h

EL-USB-2

Humidity, Temperature and Dew Point USB Data Logger

This data logger measures and stores up to 16,382 relative humidity and 16,382 temperature readings over 0 to 100%RH and -35 to +80°C (-31 to +176°F) measurement ranges. The user can easily set up the logging rate and start-time, and download the stored data by plugging the module straight into a PC's USB port and running the purpose designed software under Windows 98, 2000 or XP. Relative humidity, temperature and dew point (the temperature at which water vapor present in the air begins to condense) data can then be graphed, printed and exported to other applications. The data logger is supplied complete with a long-life lithium battery, which can typically allow logging for a year. Status indication is via flashing red and green LEDs. The logger is protected against ingress from water and dust to IP67 standard when the plastic cap and seal are fitted.

FEATURES

- 0 to +100%RH Measurement Range
- -35 to +80°C (-31 to +176°F) Measurement Range
- Dew point indication via Windows Control Software
- USB Interface for Set-up and Data Download
- User-Programmable Alarm Thresholds for %RH & T
- Status Indication via Red and Green LEDs
- Supplied with Replaceable Internal Lithium Battery and Windows Control Software
- Environmental Protection to IP67



WINDOWS CONTROL SOFTWARE

Easy to install and use, the control software runs under Windows 98, 2000 and XP (Home and Professional Editions). It allows the user to set up and download any EL-USB-2. The latest version of the control software may be downloaded from www.lascarelectronics.com.

DATA LOGGER SET-UPS

- Logger Name
- °C, °F
- Logging Rate (10s, 1m, 5m, 30m, 1hr, 6hr, 12hr)
- High and Low Alarms for Humidity and Temperature
- Start Date and Start Time

ORDERING INFORMATION

	Stock Number
Standard Data Logger (Data Logger, Software on CD and Battery)	EL-USB-2
Replacement Battery	BAT 3V6

SPECIFICATIONS

Specification	Min.	Typ.	Max.	Unit
Relative Humidity	Measurement range	0	100	%RH
	Repeatability (short term)	±0.2		%RH
	Accuracy (overall error) (20-80%RH)	±3.5**		%RH
	Response time	5		sec
	Long term stability	1		%RH/Yr
Temperature	Measurement range	-35 (-31)	+80 (176)	°C (°F)
	Repeatability	±0.2 (±0.4)		°C (°F)
	Accuracy (overall error)	±1 (±2)	±2.5 (±5)	°C (°F)
	Response time	20		sec
	Dew Point Accuracy (overall error) (25°C, 40-100%RH)	±2 (±4)***		°C (°F)
Logging rate	every 10s		every 12hr	-
Operating temperature range	-35 (-31)		+80 (176)	°C (°F)
1/2AA 3.6V Lithium Battery Life*		1		Year

* Depending on sample rate, ambient temperature and use of alarm LEDs

** This specifies the overall error in the logged readings, for relative humidity measurements between 20 and 80%RH.

*** This specifies the overall error in the calculated dew point, for relative humidity measurements between 40 and 100%RH at 25°C.

See page 4 of this datasheet for accuracy graphs.

LASCAR ELECTRONICS LTD.
MODULE HOUSE
WHITEPARISH
WILTSHIRE SP5 2SJ
UK
TEL: +44 (1794) 884567
FAX: +44 (1794) 884616
E-mail: sales@lascar.co.uk

LASCAR ELECTRONICS INC.
3750 West 26th Street
Erie
PA 16506
USA
TEL: +1 (814) 835 0621
FAX: +1 (814) 838 8141
E-mail: us-sales@lascarelectronics.com

LASCAR ELECTRONICS (HK) LIMITED
FLAT C, 5/F., LUCKY FTY. BLDG.
63-65 HUNG TO ROAD
KWUN TONG KOWLOON
HONG KONG
TEL: +852 2797 3219
FAX: +852 2343 6187
E-mail: b4lascar@samsongroup.com.hk

Specifications liable to change without prior warning

EL-USB-2

Issue 2

April/2005

M.C.

Applies to EL-USB-2



www.lascarelectronics.com

Annexe 11: Hypothèses de simulation thermique dynamique

Données météorologiques

Les données météo utilisées dans cette étude sont issues de la station synoptique de la Loire située sur la commune d'Andrézieux-Bouthéon (N 45°31'48", E 4°17'24"). Les sites étudiés sont distants de 12 et 15 kilomètres respectivement pour le Meygal et les logements des Echos et des Suzannes (Figure 102). Le jeu de données utilisées est issu de la reconstitution sous le logiciel météoalc des valeurs mensuelles fournies par Météo France pour l'année 2009 (Figure 103).

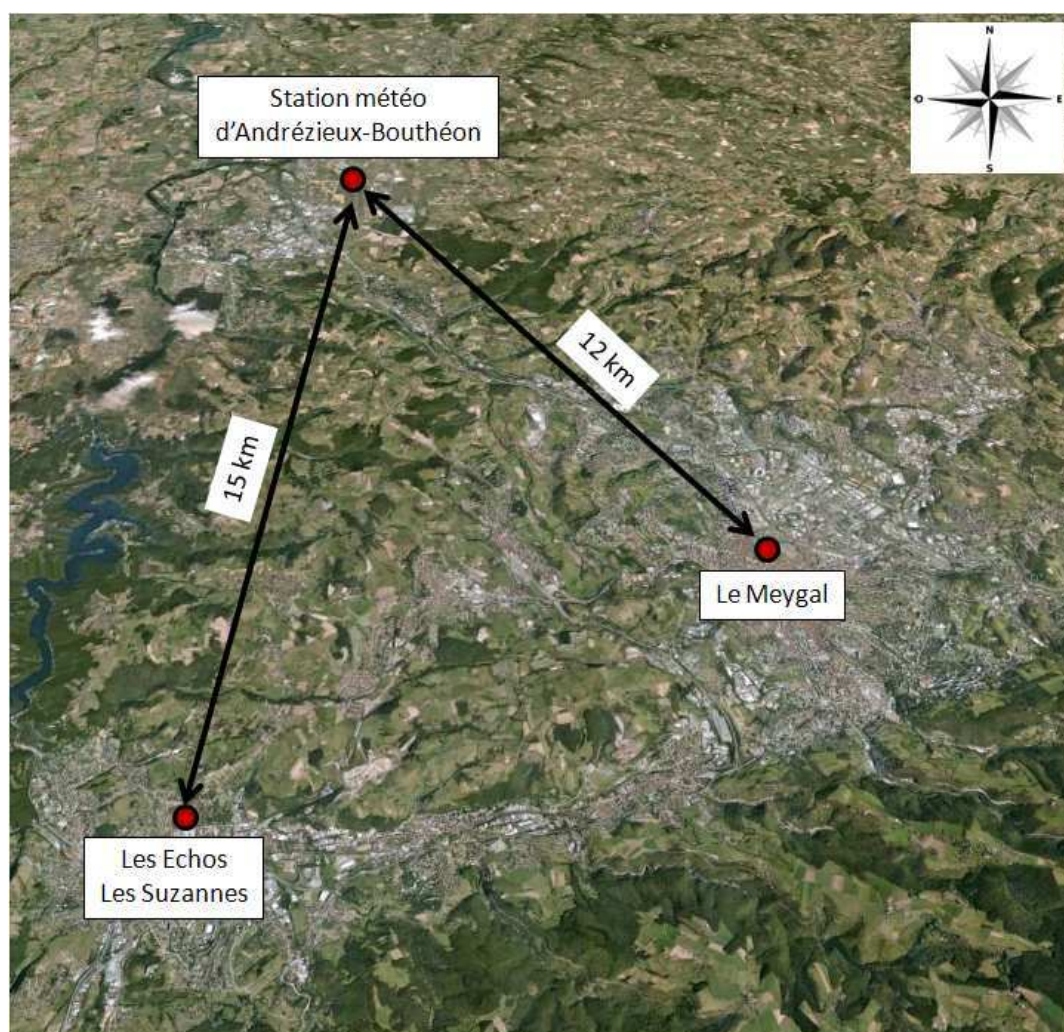


Figure 102: Emplacement géographique des sites d'études et de la station météorologique de référence

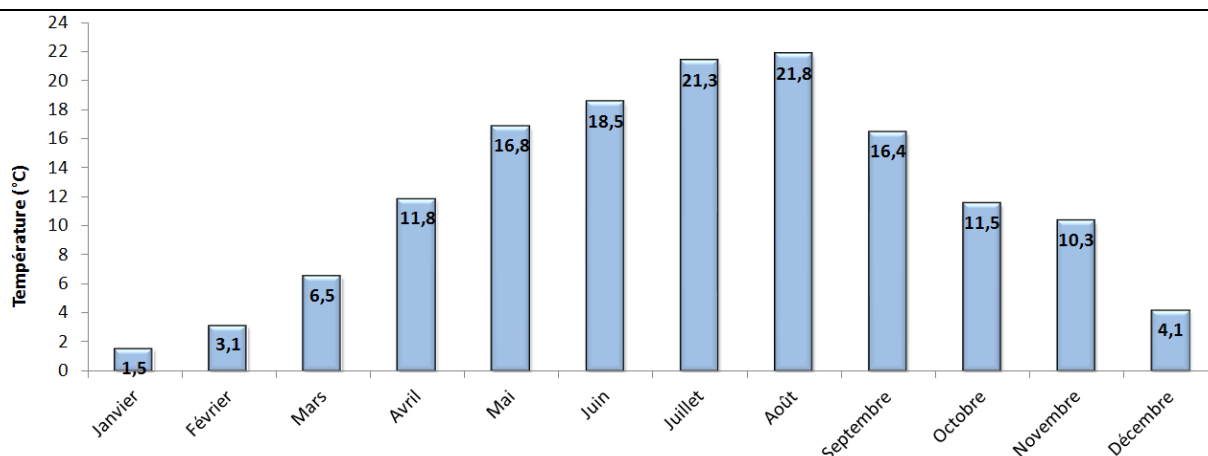


Figure 103 : Températures moyennes mensuelles reconstruites pour l'année 2009 (Station synoptique d'Andrézieux-Bouthéon)

Scénario d'occupation

Les scénarios d'occupation sont basés sur l'étude du taux d'occupation réel constaté sur les sites d'étude, soit en moyenne 2 occupants par logement et ce quelque soit le type (T1, T2, T3, ...). Le taux d'occupation moyen est estimé à 0,02 occupant par m². Le pourcentage d'occupation représente pour une semaine entière le pourcentage d'occupants présents en fonction des heures de la journée (Tableau 87). Dans ce scénario, il n'est pas tenu compte des périodes de vacances.

Tableau 87 : Scénario d'occupation annuel (100% = 0,02 occup/m²)

Jours de la semaine	Heures	Pourcentage d'occupation
Lundi au vendredi	0h à 8h	100 %
	8h à 12h	15 %
	12h à 14 h	50 %
	14h à 19h	15 %
	19h à 24 h	100 %
Week end		75 % en moyenne

Scénario de ventilation

Le débit de ventilation, obtenu via les campagnes de mesures sur site est en moyenne de 0,6 vol/h pour les logements du Meygal, 0,56 vol/h pour les Echos et 1,37 vol/h pour les Suzannes. Un passage en grand débit est intégré aux heures de repas. Le Tableau 88 présente le pourcentage de ventilation en hiver selon les heures de la journée pour les trois sites d'étude.

Tableau 88 : Scénario de ventilation hivernal (100% = 0,6 vol/h au Meygal, 0,56 vol/h aux Echos et 1,37 vol/h aux Suzannes)

Jours de la semaine	Heures	Pourcentage de ventilation (hiver)
Lundi au dimanche	0h à 7h	100 %
	7h à 8h	210 %
	8 h à 12 h	100 %
	12h à 13h	210 %
	14h à 19 h	100 %
	19h à 20h	210 %
	20 h à 24h	100 %

Scénario d'occultation

Trois scénarios d'occultation issus des retours d'enquête auprès des locataires de chacun des logements étudiés ont été utilisés dans le cadre des simulations. Les caractéristiques des volets étant identiques en termes de résistance thermique ($0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$), seul le pourcentage d'occultation en période hivernale distingue les trois scénarios (Tableau 89).

Tableau 89 : Scénario d'occultation hivernal

Jours de la semaine	Heures	Pourcentage d'occultation (hiver)		
		Echos	Suzannes	Meygal
Lundi au dimanche	0h à 6h	80 %	73 %	78 %
	6h à 22h	0 %	0 %	0 %
	22 h à 24 h	80 %	73 %	78 %

Scénario de puissance dissipée

Ce scénario pris en compte dans les simulations intègre la puissance dissipée par les équipements à l'intérieur des locaux à savoir : l'électricité (éclairage, électroménager, etc.), la cuisson, la distribution et l'usage d'ECS de même que les services généraux. Les valeurs renseignées pour la période hivernale et présentent dans le

Tableau 90 sont issues du référentiel QEB de la région Rhône-Alpes [ADEME, 2010].

Tableau 90 : Scénario de puissance dissipée en période hivernale.

Jours de la semaine	Heures	Puissance dissipée (W/m ²)
Lundi au dimanche	0h à 7h	2
	7h à 12h	4
	12 h à 13 h	12
	13h à 19h	4
	19h à 21 h	13
	21h à 24h	4

Nota : les apports internes dus aux dégagements sensibles des occupants sont intégrés dans le scénario d'occupation pour une valeur moyenne de 80W/habitant.

Scénario de consignes de température

La température de consigne utilisée pour la simulation est issue des données mesurées sur site soit une température journalière moyenne de 22°C au Meygal et aux Suzannes et 20°C aux Echos. La période de chauffe prise en compte s'étale du 1^{er} octobre au 1 Mai.

Rendement des systèmes de chauffage

Les rendements utilisés dans le cadre des calculs de consommation de chauffage utilisent les rendements présentés dans le Tableau 91.

Tableau 91 : Rendement des différents éléments du système de chauffage

	Meygal	Echos	Suzannes
Rendement de génération (R_g)	1	0,91	0.95
Rendement d'émission (R_e)	1	0,97	0,97
Rendement de distribution (R_d)	1	0,95	0,95
Rendement de régulation (R_r)	0,95	0,95	0.91
Rendement énergie primaire (ou Cof_{ep})	258 %	100 %	100 %

Le rendement global de l'installation R_{tot} ($R_{tot} = R_g \times R_d \times R_e \times R_r$) est donc respectivement égale à 95% au

Meygal et 80 % dans les logements de Firminy.

Le logiciel Pléiades+Comfie permettant dans un premier temps d'obtenir uniquement les besoins de chauffage (aussi nommé énergie utile (C_{eu})), les consommations d'énergie finale⁶⁵ (C_{ef}) et primaire (C_{ep}) seront calculées à partir de l'Équation 6 :

Équation 6 : Calcul de la consommation en énergie primaire et finale

$$C_{ep} = C_{ef} \times Cof_{ep} \text{ ou } C_{ef} = C_{eu} \div R$$

C_{ep} : Consommation d'énergie primaire (kWh_{ep}) C_{eu} : Consommation d'énergie utile (kWh_{eu})
 C_{ef} : Consommation d'énergie finale (kWh_{ef}) R : rendement du système (%)
 Cof_{ep} : Coefficient énergie primaire

Zones thermiques

Dans le cadre des simulations thermiques dynamiques réalisées sur les sites d'études, chaque bâtiment simulé a été découpé en zone thermique (Figure 104). Pour les bâtiments situés sur la commune de Firminy à savoir les Echos R+2, R+3 et les Suzannes, respectivement 6, 16, et 12 zones thermiques ont été modélisées. Pour ces trois bâtiments, chacune des zones thermiques représente un logement.

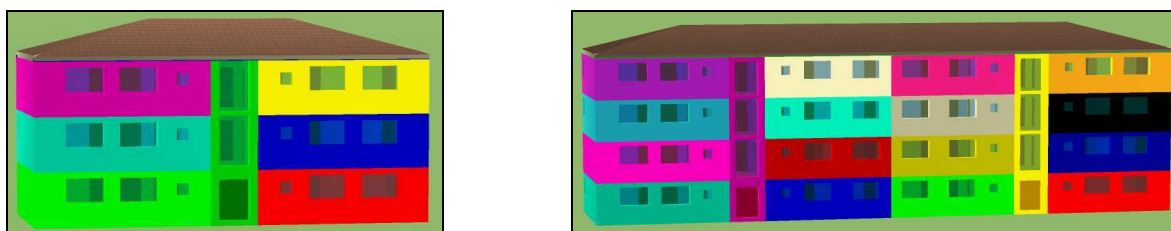
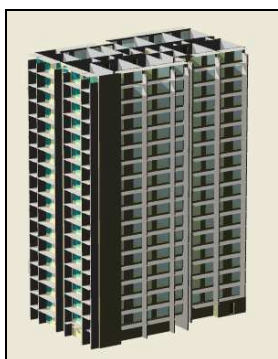


Figure 104 : Représentation graphique des zones thermiques. Exemple des logements des Echos R+2 (à gauche) et R+3 (à droite)

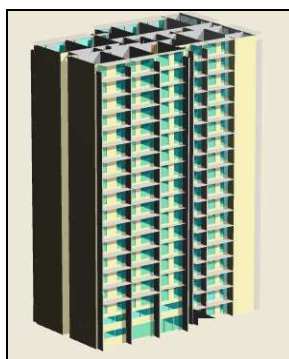
Dans le cadre des simulations réalisées sur la tour du Meygal, et devant le nombre limité de zones thermiques modélisables (40 au maximum) au travers de Pléiades+Comfie, les zones créées regroupent des logements dont les caractéristiques techniques, (orientation, superficie des zones vitrées et des logements, ...) sont identiques. Ainsi, 20 zones thermiques regroupant les 107 logements ont été modélisées sur l'ensemble des 18 étages.

⁶⁵ Le Cof_{ep} étant égal à 1 (100%) les consommations d'énergie finale et primaire sont identiques.

Annexe 12_a : Tour du Meygal, état initial.



Façade Est et Sud



Façade Ouest et Nord

Bâtiment de type R+18 comprenant 17 logements de type 2, 44 de type 3, 37 de type 4 et 9 de type 5

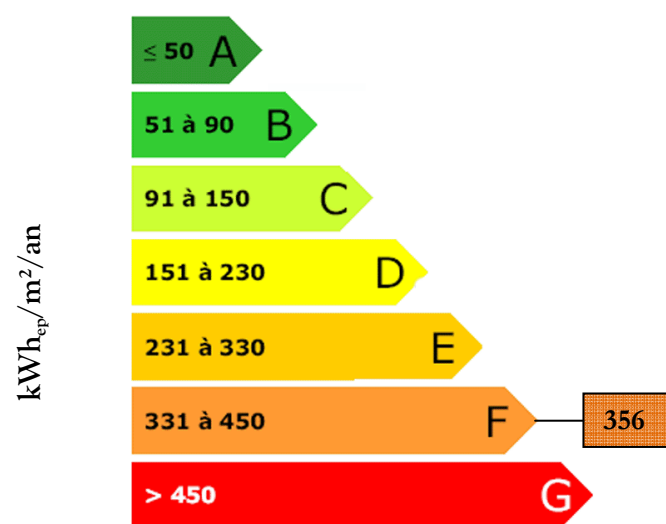
Superficie totale chauffée : $\approx 7917 \text{ m}^2$

- Parois 1 : Béton de 20 cm d'épaisseur isolé par 10 cm de polystyrène expansé.
- Parois 2 : Bois aggloméré isolé par 10 cm de laine de verre.
- Refends : Béton de 20 cm d'épaisseur.
- Plancher haut : Béton de 20 cm isolé par 6 cm de polyuréthane et 7 cm de graviers.
- Le plancher bas est un béton de 20 cm d'épaisseur.
- Le système de chauffage électrique a un rendement (R_{Tot}) estimé de 95%.

Consommation d'énergie imputable au chauffage

243 kWh_{ep}/m²/an (83% collectif, 17% individuel)

Consommation d'énergie imputable à l'eau chaude sanitaire
113 kWh_{ep}/m²/an

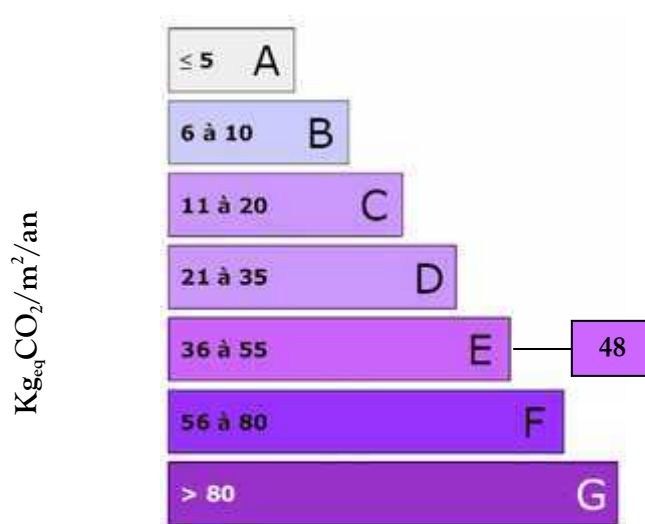


Etiquette DPE indicative

Emission d'équivalent CO₂ imputable au chauffage

44 Kg_{eq}CO₂/m²/an (83% collectif, 17% individuel)

Emission d'équivalent CO₂ imputable à l'eau chaude sanitaire
4 Kg_{eq}CO₂/m²/an

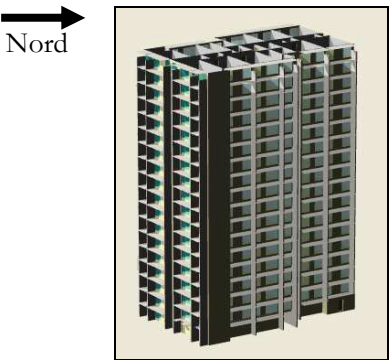
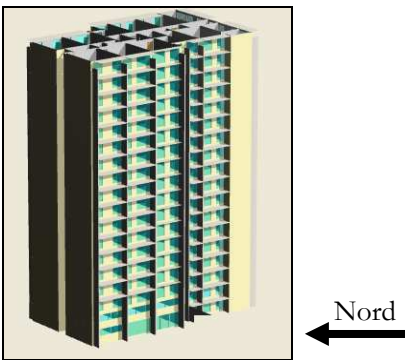
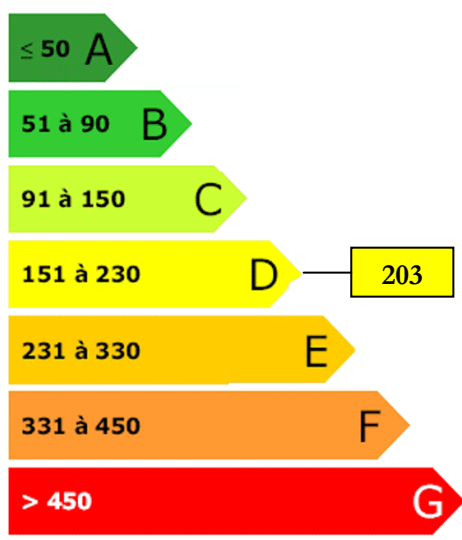
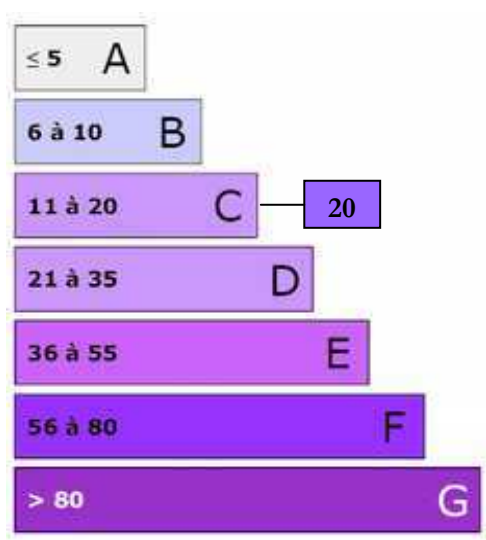


Etiquette DPE indicative


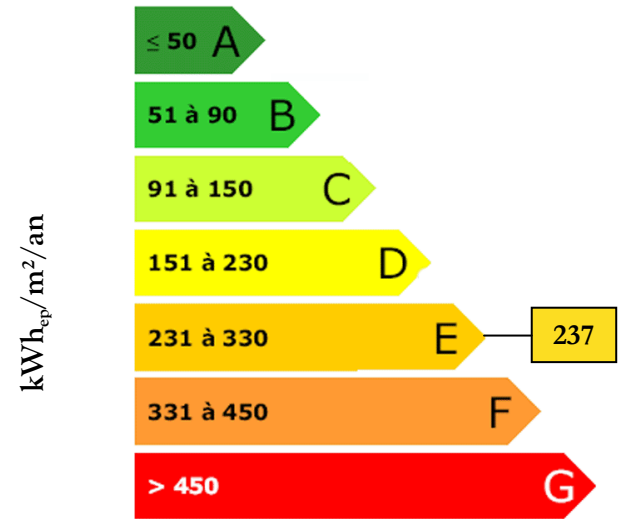
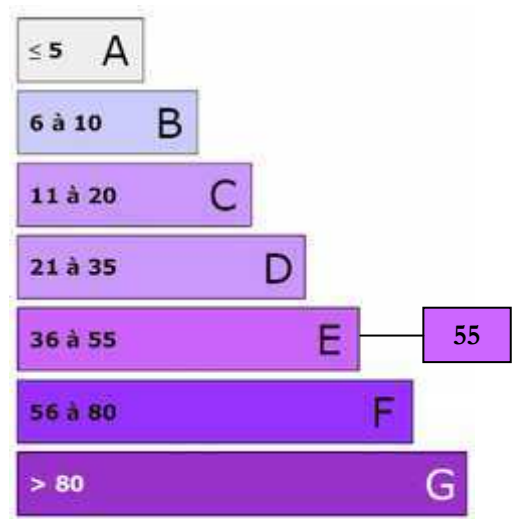
Frais annuels estimés en énergie électrique pour le chauffage collectif + individuel → $\approx 53783 \text{ € TTC/an}$

Frais annuels estimés en énergie électrique pour l'ECS → $\approx 24862 \text{ € TTC/an}$


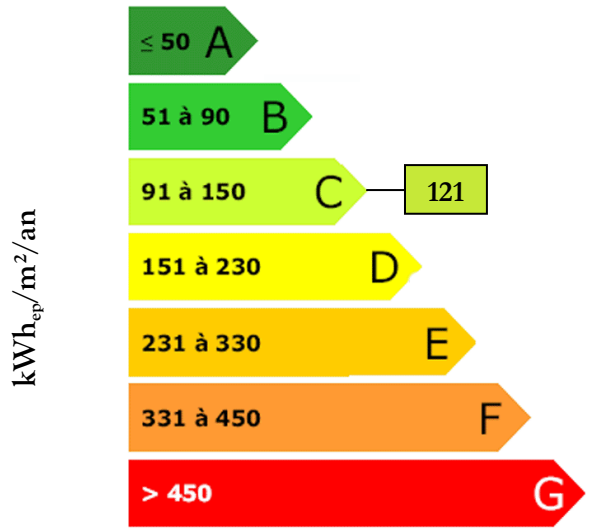
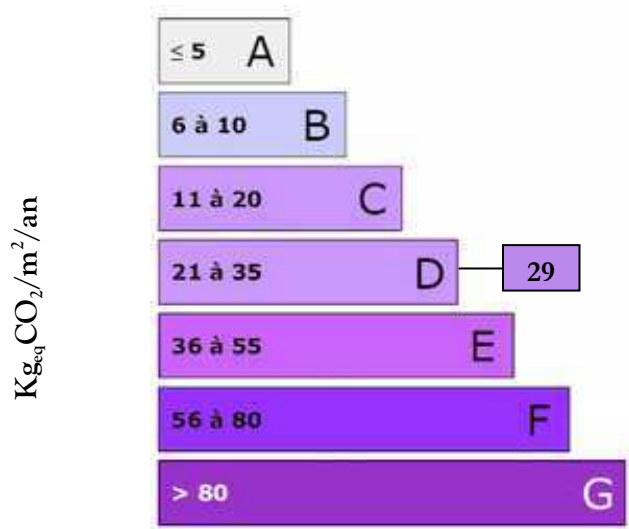
Annexe 12_b : Tour du Meygal, état rénové.

<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Façade Est et Sud</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Façade Ouest et Nord</p> </div> </div>	
<p>Bâtiment de type R+18 comprenant 17 logements de type 2, 44 de type 3, 37 de type 4 et 9 de type 5</p> <p style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Superficie totale chauffée : $\approx 7917 \text{ m}^2$</p> <p style="text-align: center;">Éléments de la rénovation → action sur l'efficacité du bâti</p> <ul style="list-style-type: none"> - Création de loggias équipées de fenêtres de coefficient $U_w \leq 1,37 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ - Remplacement des fenêtres donnant sur l'extérieur par des fenêtres de coefficient $U_w \leq 1,37 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ - Utilisation d'une VMC hygroréglable de type A 	
<p>Consommation d'énergie imputable au chauffage 90 kWh_{ep}/m²/an</p>	<p>Emission d'équivalent CO₂ imputable au chauffage 16 Kg_{eq}CO₂/m²/an</p>
<p>Consommation d'énergie imputable à l'eau chaude sanitaire 113 kWh_{ep}/m²/an</p>	<p>Emission d'équivalent CO₂ imputable à l'eau chaude sanitaire 4 Kg_{eq}CO₂/m²/an</p>
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); margin-right: 10px;">kWh_{ep}/m²/an</div>  </div> <p style="text-align: center;">Etiquette DPE <u>indicative</u></p>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); margin-right: 10px;">Kg_{eq}CO₂/m²/an</div>  </div> <p style="text-align: center;">Etiquette DPE <u>indicative</u></p>
<p>Frais annuels estimés en énergie électrique pour le chauffage collectif + individuel → $\approx 19922 \text{ € TTC/an}$</p>	
<p>Baisse des charges de chauffage collectif + individuel → $\approx -63\%$</p>	
<p>Frais annuels estimés en énergie électrique pour le l'ECS → $\approx 24862 \text{ € TTC/an}$</p>	

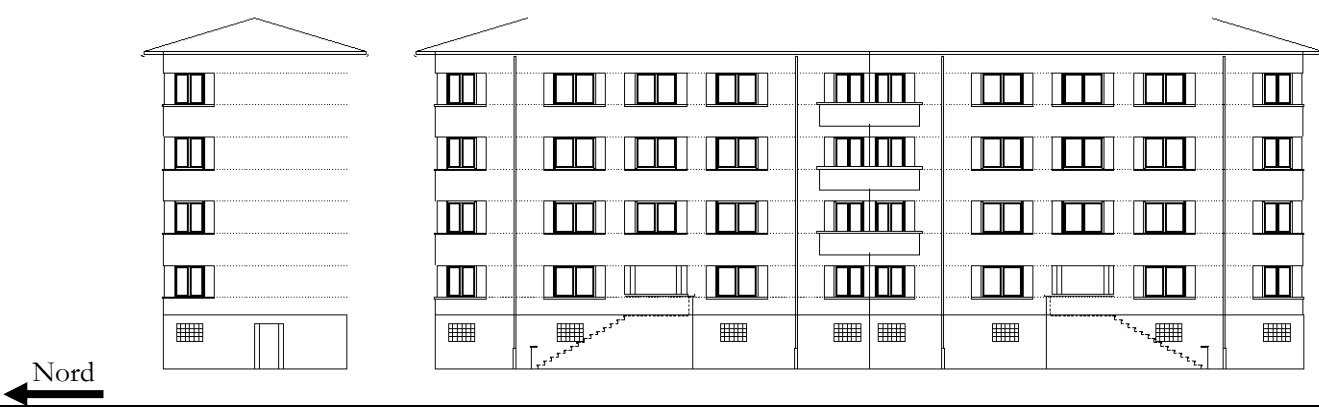
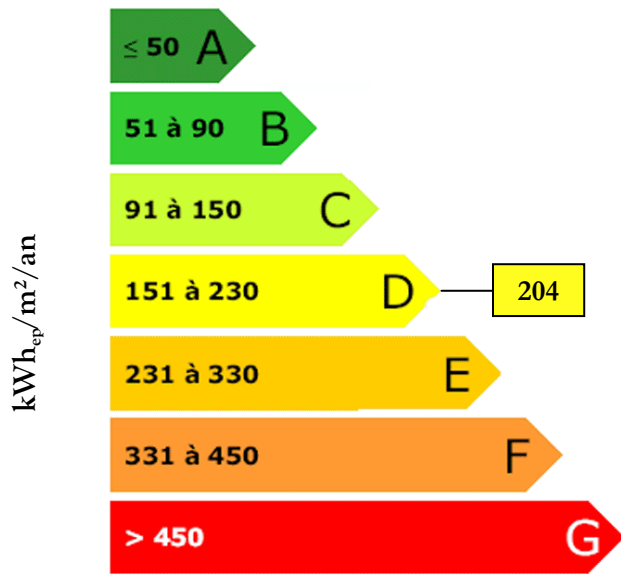
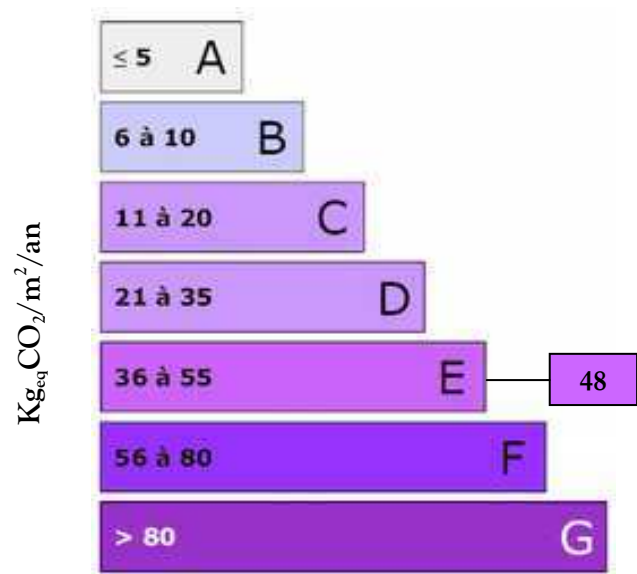
Annexe 13_a : Bâtiment des Echos R+2 état initial.

	
<p>Bâtiment de type R+2 comprenant 4 logements de type 3 et 2 logements de type 4</p> <p>Superficie totale chauffée : $\approx 374 \text{ m}^2$</p> <ul style="list-style-type: none"> - La direction principale des bâtiments est Nord-Sud alors que les logements sont traversant Est-Ouest. - Les parois opaques sont formées d'un béton à scorie ou mâchefer dont le lambda estimé est de 1.4. - Les combles sont formés d'une dalle de béton, isolés sur la face externe par 15 cm de laine de verre posée à même le sol. - Le plancher bas est un béton à scorie isolé sur sa face extérieure par 5 cm de fibrostyle. - La chaudière à gaz est une GLM 5.20 dont le rendement total (R_{Tot}) est estimé à 80%. 	
<p>Consommation d'énergie imputable <u>au chauffage</u></p> <p>209 $\text{kW}_{\text{ep}}/\text{m}^2/\text{an}$</p>	<p>Emission d'équivalent CO_2 imputable <u>au chauffage</u></p> <p>48 $\text{Kg}_{\text{eq}}\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{an}$</p>
<p>Consommation d'énergie imputable à l'eau chaude sanitaire</p> <p>28 $\text{kW}_{\text{ep}}/\text{m}^2/\text{an}$</p>	<p>Emission d'équivalent CO_2 à l'eau chaude sanitaire</p> <p>7 $\text{Kg}_{\text{eq}}\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{an}$</p>
 <p>Etiquette DPE <u>indicative</u></p>	 <p>Etiquette DPE <u>indicative</u></p>
<p>Frais annuel estimés en énergie gaz pour le chauffage individuel $\rightarrow \approx 3483 \text{ € TTC/an}$</p>	
<p>Frais annuel estimés en énergie gaz pour l'ECS $\rightarrow \approx 367 \text{ € TTC/an}$</p>	

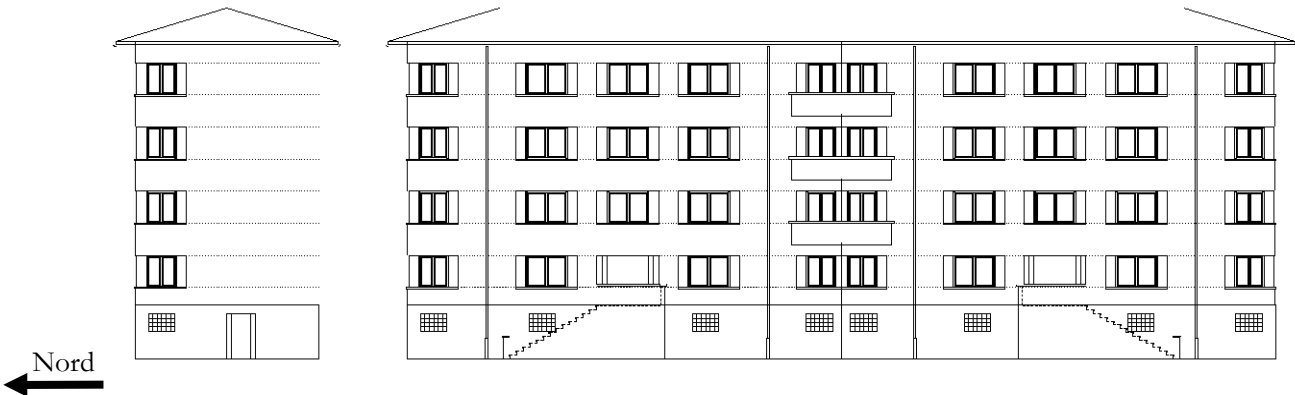
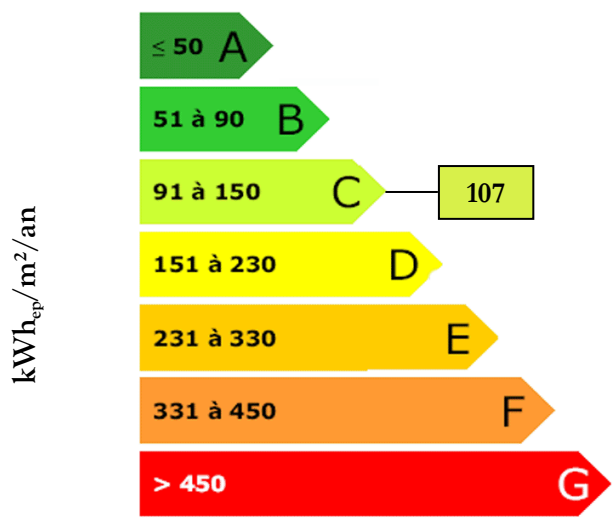
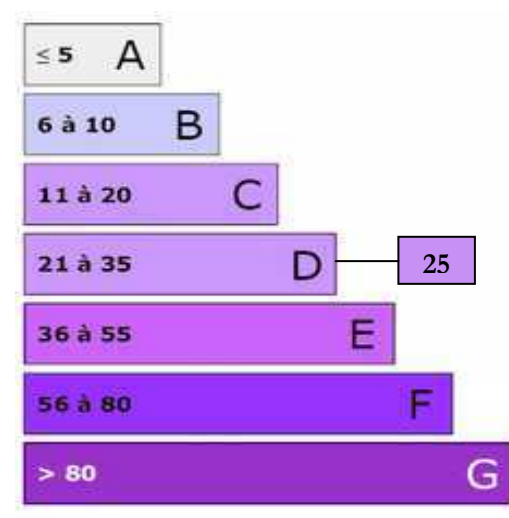
Annexe 13_b: Bâtiment des Echos R+2, état rénové.

	
<p align="center">Bâtiment de type R+2 comprenant 4 logements de type 3 et 2 logement de type 4</p> <p align="center">Superficie totale chauffée : $\approx 374 \text{ m}^2$</p> <p align="center">Eléments de la rénovation → action sur l'efficacité du bâti</p> <ul style="list-style-type: none"> - Isolation des combles sur leurs faces externes pour obtenir une résistance $R \geq 7,32 \text{ W.K}^{-1}$ - Isolation du plancher bas sur sa face externe pour obtenir une résistance $R \geq 2,56 \text{ W.K}^{-1}$ - Isolation des murs extérieurs pour obtenir une résistance $R \geq 2,56 \text{ W.K}^{-1}$ - Traitement des ponts thermiques au niveau du renforcement des fenêtres et action sur le système de ventilation. 	
<p align="center">Consommation d'énergie imputable au chauffage 93 $\text{kW}_{\text{ep}}/\text{m}^2/\text{an}$</p>	<p align="center">Emission d'équivalent CO_2 imputable au chauffage 22 $\text{Kg}_{\text{eq}}\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{an}$</p>
<p align="center">Consommation d'énergie imputable à l'eau chaude sanitaire 28 $\text{kW}_{\text{ep}}/\text{m}^2/\text{an}$</p>	<p align="center">Emission d'équivalent CO_2 à l'eau chaude sanitaire 7 $\text{Kg}_{\text{eq}}\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{an}$</p>
 <p align="center">Etiquette DPE <u>indicative</u></p>	 <p align="center">Etiquette DPE <u>indicative</u></p>
<p align="center">Frais annuel estimés en énergie gaz pour le chauffage individuel → $\approx 1559 \text{ € TTC/an}$</p>	
<p align="center">Baisse des charges de chauffage → $\approx -56 \%$</p>	
<p align="center">Frais annuel estimés en énergie gaz pour le l'ECS → $\approx 367 \text{ € TTC/an}$</p>	


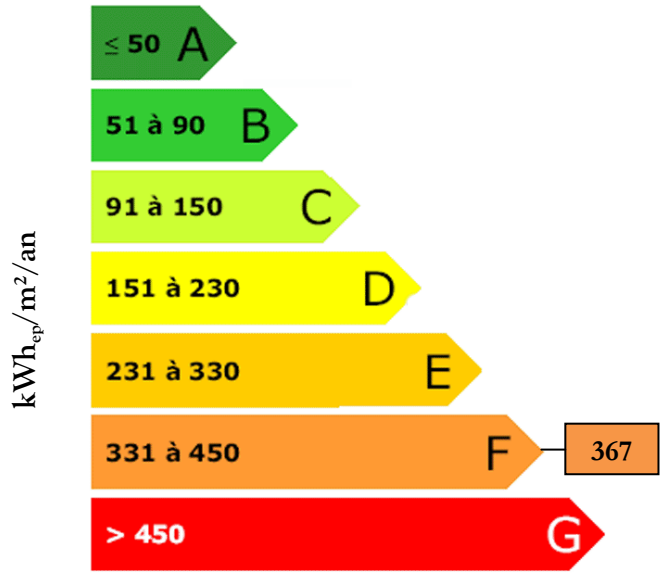
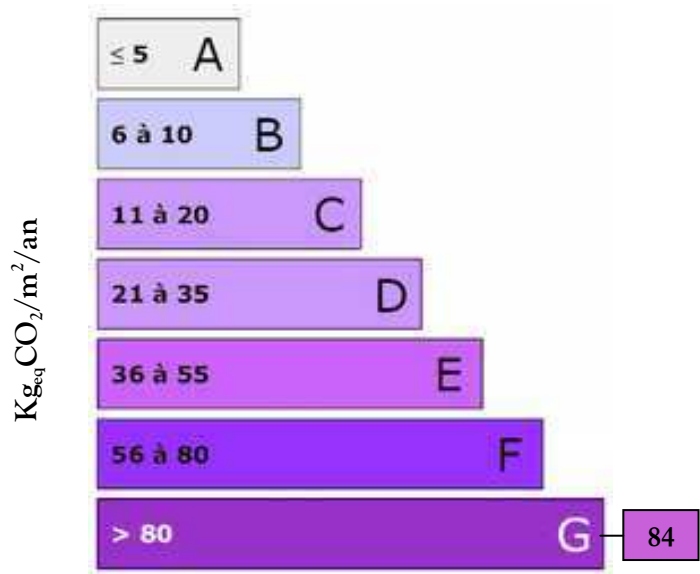
Annexe 14_a : Bâtiment des Echos R+3, état initial.

	
<p align="center">Bâtiment de type R+3 comprenant 10 logements de type 3 et 6 logements de type 4</p> <p align="center">Superficie totale chauffée : $\approx 1008 \text{ m}^2$</p> <ul style="list-style-type: none"> - La direction principale des bâtiments est Nord-Sud alors que les logements sont traversant Est-Ouest. - Les parois opaques sont formées d'un béton à scorie ou mâchefer dont le λ estimé est de 1.4. - Les combles sont formés d'une dalle de béton, isolés sur la face externe par 15 cm de laine de verre posée à même le sol. - Le plancher bas est un béton à scorie isolé sur sa face extérieure par 5 cm de fibrostyle. - La chaudière à gaz est une GLM 5.20 dont le rendement total (R_{Tot}) est estimé à 80%. 	
<p>Consommation d'énergie imputable <u>au chauffage</u> 176 $\text{kW}_{\text{ep}}/\text{m}^2/\text{an}$</p>	<p>Emission d'équivalent CO_2 imputable <u>au chauffage</u> 41 $\text{Kg}_{\text{eq}}\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{an}$</p>
<p>Consommation d'énergie imputable à l'eau chaude sanitaire 28 $\text{kW}_{\text{ep}}/\text{m}^2/\text{an}$</p>	<p>Emission d'équivalent CO_2 à l'eau chaude sanitaire 7 $\text{Kg}_{\text{eq}}\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{an}$</p>
 <p align="center">Etiquette DPE <u>indicative</u></p>	 <p align="center">Etiquette DPE <u>indicative</u></p>
<p align="center">Frais annuel estimés en énergie gaz pour le chauffage individuel → $\approx 7927 \text{ € TTC/an}$</p>	
<p align="center">Frais annuel estimés en énergie gaz pour l'ECS → $\approx 979 \text{ € TTC/an}$</p>	

Annexe 14_b : Bâtiment des Echos R+3, état rénové.

 <p>Nord</p>	
<p>Bâtiment de type R+3 comprenant 10 logements de type 3 et 6 logement de type 4</p> <p>Superficie totale chauffée : $\approx 1008 \text{ m}^2$</p> <p>Eléments de la rénovation → action sur l'efficacité du bâti</p> <ul style="list-style-type: none"> - Isolation des combles sur leurs faces externes pour obtenir une résistance $R \geq 7,32 \text{ W.K}^{-1}$ - Isolation du plancher bas sur sa face externe pour obtenir une résistance $R \geq 2,56 \text{ W.K}^{-1}$ - Isolation des murs extérieurs pour obtenir une résistance $R \geq 2,56 \text{ W.K}^{-1}$ - Traitement des ponts thermiques au niveau du renforcement des fenêtres et action sur le système de ventilation. 	
<p>Consommation d'énergie imputable <u>au chauffage</u></p> <p>79 $\text{kW}_{\text{ep}}/\text{m}^2/\text{an}$</p>	<p>Emission d'équivalent CO_2 imputable <u>au chauffage</u></p> <p>18 $\text{Kg}_{\text{eq}}\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{an}$</p>
<p>Consommation d'énergie imputable à l'eau chaude sanitaire</p> <p>28 $\text{kW}_{\text{ep}}/\text{m}^2/\text{an}$</p>	<p>Emission d'équivalent CO_2 à l'eau chaude sanitaire</p> <p>7 $\text{Kg}_{\text{eq}}\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{an}$</p>
 <p>$\text{kW}_{\text{h}}_{\text{ep}}/\text{m}^2/\text{an}$</p> <p>Etiquette DPE <u>indicative</u></p>	 <p>$\text{Kg}_{\text{eq}}\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{an}$</p> <p>Etiquette DPE <u>indicative</u></p>
<p>Frais annuel estimés en énergie gaz pour le chauffage individuel → $\approx 3555 \text{ € TTC/an}$</p>	
<p>Baisse des charges de chauffage → $\approx -55 \%$</p>	
<p>Frais annuel estimés en énergie gaz pour l'ECS → $\approx 979 \text{ € TTC/an}$</p>	

Annexe 15_a : Bâtiment des Echos R+3, état initial

	
<p align="center">Bâtiment de type R+1 comprenant 12 logements de type 4</p> <p align="center">Superficie totale chauffée : $\approx 1128 \text{ m}^2$</p> <ul style="list-style-type: none"> - La direction principale des bâtiments est Est-Ouest alors que les logements sont traversant Nord-Sud. - Les parois opaques sont formées d'un béton à scorie ou mâchefer dont le lambda estimé est de 1.4. - Les combles sont formés d'une dalle de béton non isolée - Le plancher bas est un béton à scorie isolé sur sa face extérieure par 5 cm de fibrostyle. - La chaudière à gaz est une chaudière à ventouse dont le rendement total (R_{Tot}) est estimé à 80%. 	
<p align="center">Consommation d'énergie imputable <u>au chauffage</u></p> <p align="center">348 $\text{kW}_{\text{ep}}/\text{m}^2/\text{an}$</p>	<p align="center">Emission d'équivalent CO_2 imputable <u>au chauffage</u></p> <p align="center">80 $\text{Kg}_{\text{eq}}\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{an}$</p>
<p align="center">Consommation d'énergie imputable à l'eau chaude sanitaire</p> <p align="center">19 $\text{kW}_{\text{ep}}/\text{m}^2/\text{an}$</p>	<p align="center">Emission d'équivalent CO_2 à l'eau chaude sanitaire</p> <p align="center">4 $\text{Kg}_{\text{eq}}\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{an}$</p>
 <p align="center">Etiquette DPE <u>indicative</u></p>	 <p align="center">Etiquette DPE <u>indicative</u></p>
<p align="center">Frais annuel estimés en énergie gaz pour le chauffage individuel → $\approx 17046 \text{ € TTC/an}$</p>	
<p align="center">Frais annuel estimés en énergie gaz pour l'ECS → $\approx 734 \text{ € TTC/an}$</p>	

Annexe 15_b : Bâtiment des Suzannes, état rénové.



Bâtiment de type R+1 comprenant 12 logements de type 4

Superficie totale chauffée : $\approx 1128 \text{ m}^2$

Éléments de la rénovation → action sur l'efficacité du bâti

- Isolation des combles sur leurs faces externes pour obtenir une résistance $R \geq 7.32 \text{ W.K}^{-1}$
- Isolation du plancher bas sur sa face externe pour obtenir une résistance $R \geq 2.56 \text{ W.K}^{-1}$
- Isolation des murs extérieurs pour obtenir une résistance $R \geq 2.56 \text{ W.K}^{-1}$
- Traitement des ponts thermiques au niveau du renforcement des fenêtres et action sur le système de ventilation.

Consommation d'énergie imputable au chauffage 129 kWh_{ep}/m²/an	Emission d'équivalent CO ₂ imputable au chauffage 31 Kg_{eq}CO₂/m²/an
Consommation d'énergie imputable à l'eau chaude sanitaire 19 kWh _{ep} /m ² /an	Emission d'équivalent CO ₂ à l'eau chaude sanitaire 4 Kg _{eq} CO ₂ /m ² /an
<p>Etiquette DPE indicative</p>	<p>Etiquette DPE indicative</p>
Frais annuel estimés en énergie gaz pour le chauffage individuel → $\approx 6471 \text{ € TTC/an}$	
Baisse des charges de chauffage → $\approx -62 \%$	
Frais annuel estimés en énergie gaz pour l'ECS → $\approx 734 \text{ € TTC/an}$	

Annexe 16 : Représentation graphique du confort au travers du diagramme de Brager.

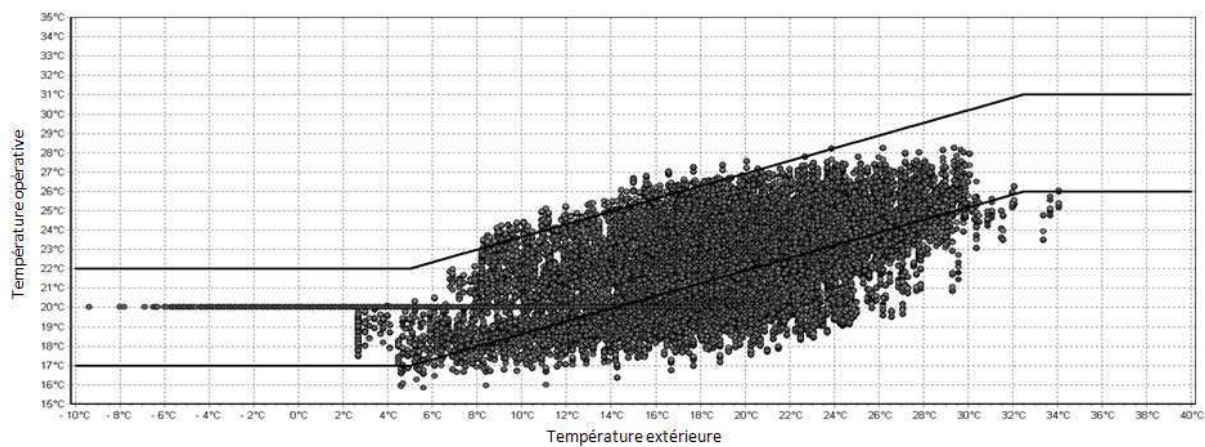


Figure 105 : Diagramme de Brager : Echos R+2

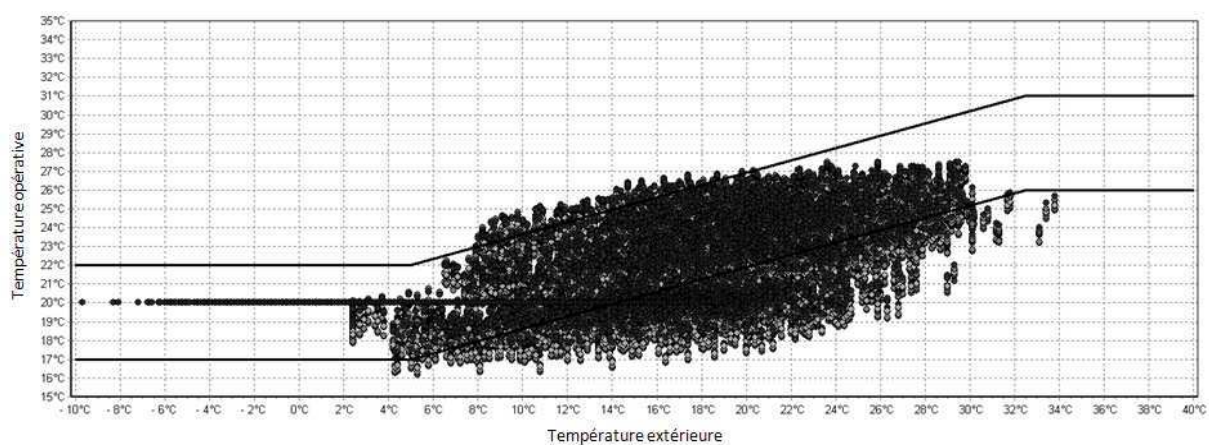


Figure 106 : Diagramme de Brager : Echos R+3

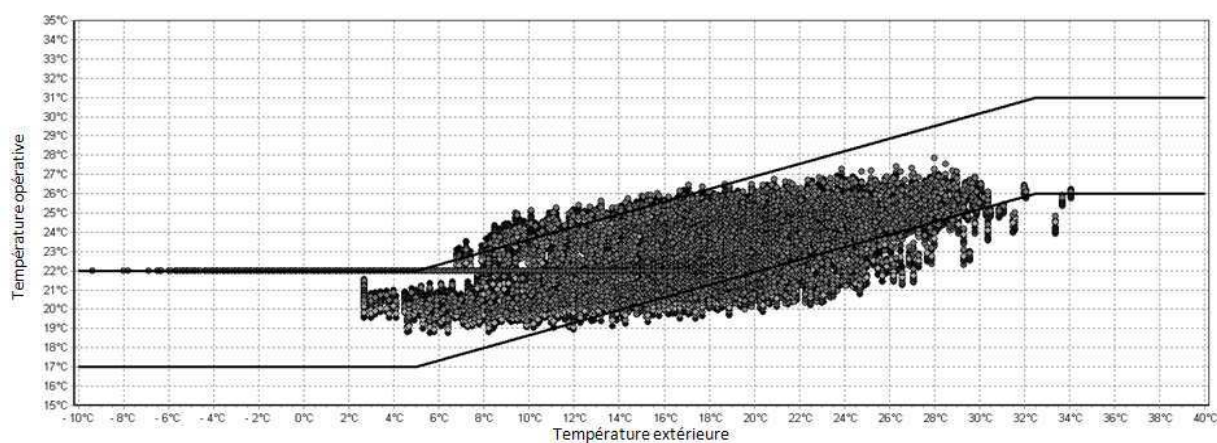


Figure 107 : Diagramme de Brager : Meygal avec appoint (T=22°C)

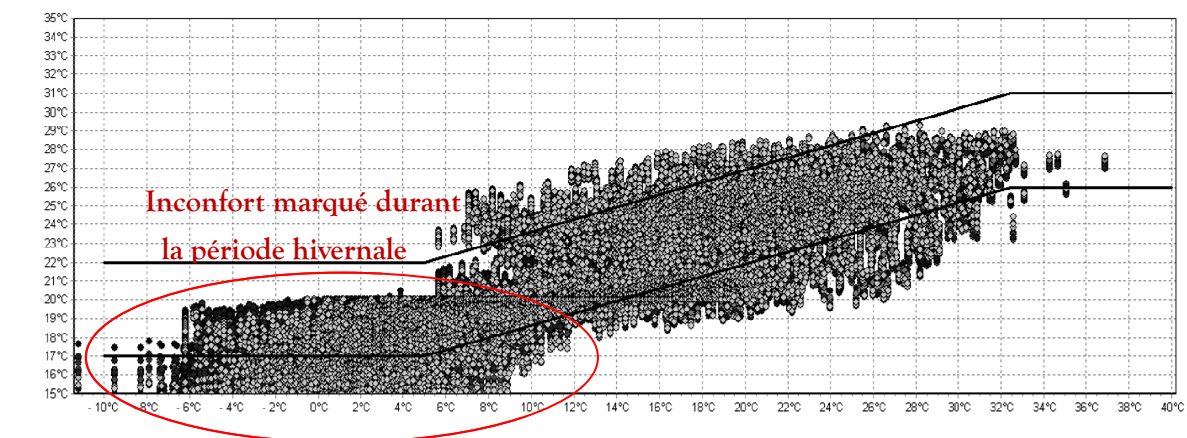


Figure 108 : Diagramme de Brager : Meygal sans appoint (T=20°C)

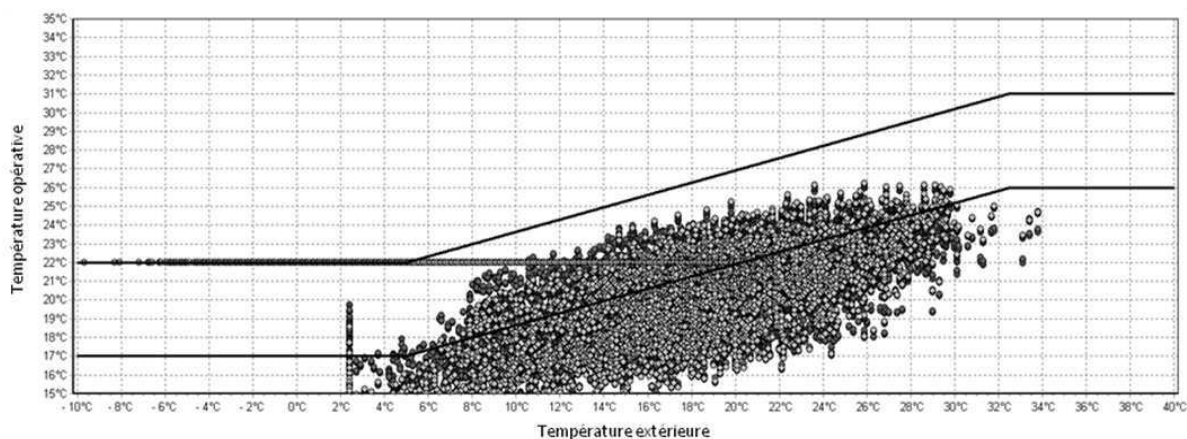


Figure 109 : Diagramme de Brager : Suzannes

Annexe 17 : Données de l'Analyse des Correspondances Multiples : Les utilisateurs du bâtiment.

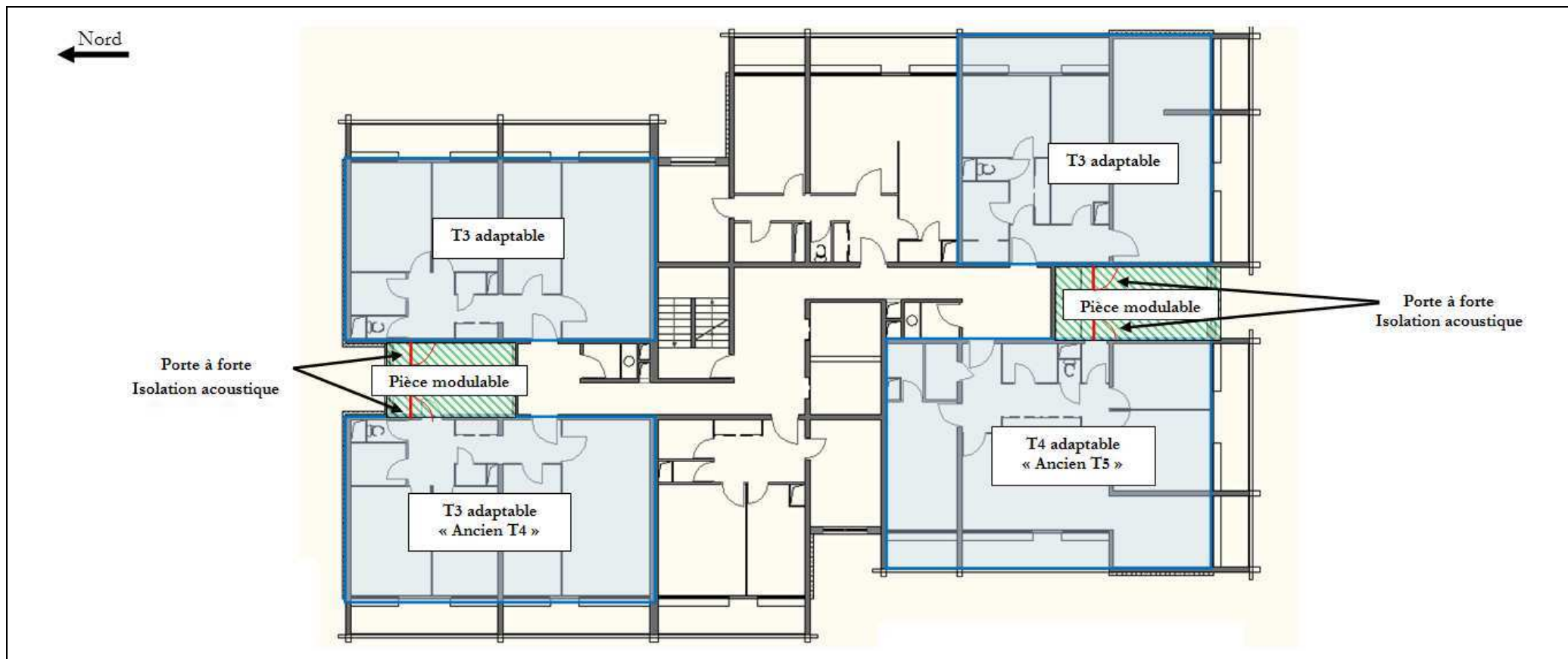
DESCRIPTION DE PARTITION(S)
DESCRIPTION DE LA Coupure 'a' de l'arbre en 2 classes
CARACTERISATION DES CLASSES PAR LES MODALITES
□
CARACTERISATION PAR LES MODALITES DES CLASSES OU MODALITES
DE Coupure 'a' de l'arbre en 2 classes
CLASSE 1 / 2

V.TEST	PROBA	CLA/MOD	MOD/CLA	POURCENTAGES GLOBAL	MODALITES CARACTERISTIQUES	DES VARIABLES	IDEN	POIDS
				40.96	CLASSE 1 / 2			
6.74	0.000	81.08	88.24	44.58	C7=HR <=30	Humidité relative	aa1a	34
6.74	0.000	81.08	88.24	44.58	C3=Meygal	Locataire détail	AF_1	37
5.87	0.000	70.45	91.18	53.01	C5=Mes > 21	T mesuré	AB_3	37
4.54	0.000	77.78	61.76	32.53	C40=confort	Vocation des travaux 1	AD_1	44
3.88	0.000	92.31	35.29	15.66	C49=normal	Prix chauffage	BM_3	27
3.06	0.001	90.00	26.47	12.05	C32=non	Confort logement	BV_3	13
2.63	0.004	62.07	52.94	34.94	C29=Chauff effi non	Efficacité chauffage	BE_1	10
1.94	0.026	69.23	26.47	15.66	C49=faible	Prix chauffage	BE_1	29
1.76	0.039	59.09	38.24	26.51	C66=Dimi T° apr non	Diminution T° apr	BV_2	13
1.69	0.045	55.17	47.06	34.94	C37=très faible	Qualité isolation	CH_3	22
1.10	0.135	43.42	97.06	91.57	C6=D [0,5-1]	Débit	BJ_3	29
0.54	0.294	50.00	23.53	19.28	C50=invest tout	répercussion investissement	AE_2	76
0.21	0.415	44.44	35.29	32.53	C66=Dimi T° apr 1	Diminution T° apr	BM_3	16
-0.29	0.385	37.84	41.18	44.58	C50=invest non	répercussion investissement	CH_1	27
-0.40	0.346	0.00	0.00	2.41	C40=Environnement	Vocation des travaux 1	BW_1	37
-0.76	0.223	31.82	20.59	26.51	C66=Dimi T° apr 2	Diminution T° apr	BM_2	2
-1.10	0.135	14.29	2.94	8.43	C3=Suzannes	Locataire détail	CM_2	22
-1.10	0.135	14.29	2.94	8.43	C6=D > 1	Débit	AE_4	7
-1.10	0.135	14.29	2.94	8.43	C7=HR >=40	Humidité relative	AE_1	7
-1.47	0.070	31.71	38.24	49.40	C37=faible	Qualité isolation	AF_2	7
-1.57	0.059	16.67	5.88	14.46	C66=Dimi T° apr p2	Diminution T° apr	BJ_2	41
-1.71	0.043	25.93	20.59	32.53	C32=oui tlt	Confort logement	CM_4	12
-2.19	0.014	27.50	32.35	48.19	C49=élevé	Prix chauffage	BE_4	27
-2.58	0.005	11.76	5.88	20.48	C49=très élevé	Prix chauffage	BV_1	40
-2.63	0.004	29.63	47.06	65.06	C29=Chauff effi oui	Efficacité chauffage	BV_4	17
-2.90	0.002	13.64	8.82	26.51	C3=Echos R+2	Locataire détail	BE_2	54
-4.00	0.000	0.00	0.00	20.48	C3=Echos R+3	Locataire détail	AE_1	22
-4.06	0.000	24.07	38.24	65.06	C40=Economie	Vocation des travaux 1	AB_2	17
-5.68	0.000	7.89	8.82	45.78	C7=HR [30-40]	Humidité relative	BM_1	54
-5.87	0.000	7.69	8.82	46.99	C5=Mes [20-21]	T mesuré	AF_3	38
							AD_2	39

CLASSE 2 / 2

V.TEST	PROBA	CLA/MOD	MOD/CLA	POURCENTAGES GLOBAL	MODALITES CARACTERISTIQUES	DES VARIABLES	IDEN	POIDS
				59.04	CLASSE 2 / 2			
5.87	0.000	92.31	73.47	46.99	C5=Mes [20-21]	T mesuré	aa2a	49
5.68	0.000	92.11	71.43	45.78	C7=HR [30-40]	Humidité relative	AD_2	39
4.06	0.000	75.93	83.67	65.06	C40=Economie	Vocation des travaux 1	AF_3	38
4.00	0.000	100.00	34.69	20.48	C3=Echos R+3	Locataire détail	BM_1	54
2.90	0.002	86.36	38.78	26.51	C3=Echos R+2	Locataire détail	AB_2	17
2.63	0.004	70.37	77.55	65.06	C29=Chauff effi oui	Efficacité chauffage	AB_1	22
2.58	0.005	88.24	30.61	20.48	C49=très élevé	Prix chauffage	BB_2	54
2.19	0.014	72.50	59.18	48.19	C49=élevé	Prix chauffage	BV_4	17
1.71	0.043	74.07	40.82	32.53	C32=oui tlt	Confort logement	BV_1	40
1.57	0.059	83.33	20.41	14.46	C66=Dimi T° apr p2	Diminution T° apr	BE_4	27
1.47	0.070	68.29	57.14	49.40	C37=faible	Qualité isolation	CM_4	12
1.10	0.135	85.71	12.24	8.43	C3=Suzannes	Locataire détail	BJ_2	41
1.10	0.135	85.71	12.24	8.43	C6=D > 1	Débit	AB_4	7
1.10	0.135	85.71	12.24	8.43	C7=HR >=40	Humidité relative	AE_1	7
0.76	0.223	68.18	30.61	26.51	C66=Dimi T° apr 2	Diminution T° apr	AF_2	7
0.40	0.346	100.00	4.08	2.41	C40=Environnement	Vocation des travaux 1	CM_2	22
0.29	0.385	62.16	46.94	44.58	C50=invest non	répercussion investissement	BM_2	2
-0.21	0.415	55.56	30.61	32.53	C66=Dimi T° apr 1	Diminution T° apr	BW_1	37
-0.54	0.294	50.00	16.33	19.28	C50=invest tout	répercussion investissement	CM_1	27
-1.10	0.135	56.58	87.76	91.57	C6=D [0,5-1]	Débit	BW_3	16
-1.69	0.045	44.83	26.53	34.94	C37=très faible	Qualité isolation	AE_2	76
-1.76	0.039	40.91	18.37	26.51	C66=Dimi T° apr non	Diminution T° apr	AE_1	7
-1.94	0.026	30.77	8.16	15.66	C49=faible	Prix chauffage	AF_2	7
-2.63	0.004	37.93	22.45	34.94	C29=Chauff effi non	Efficacité chauffage	BJ_3	29
-3.06	0.001	10.00	2.04	12.05	C32=non	Confort logement	CM_3	22
-3.88	0.000	7.69	2.04	15.66	C49=normal	Prix chauffage	BV_2	13
-4.54	0.000	22.22	12.24	32.53	C40=confort	Vocation des travaux 1	BE_1	10
-5.87	0.000	29.55	26.53	53.01	C5=Mes > 21	T mesuré	BV_3	13
-6.74	0.000	18.92	14.29	44.58	C3=Meygal	Locataire détail	BM_3	27
-6.74	0.000	18.92	14.29	44.58	C7=HR <=30	Humidité relative	AD_1	44
							AB_3	37
							AF_1	37

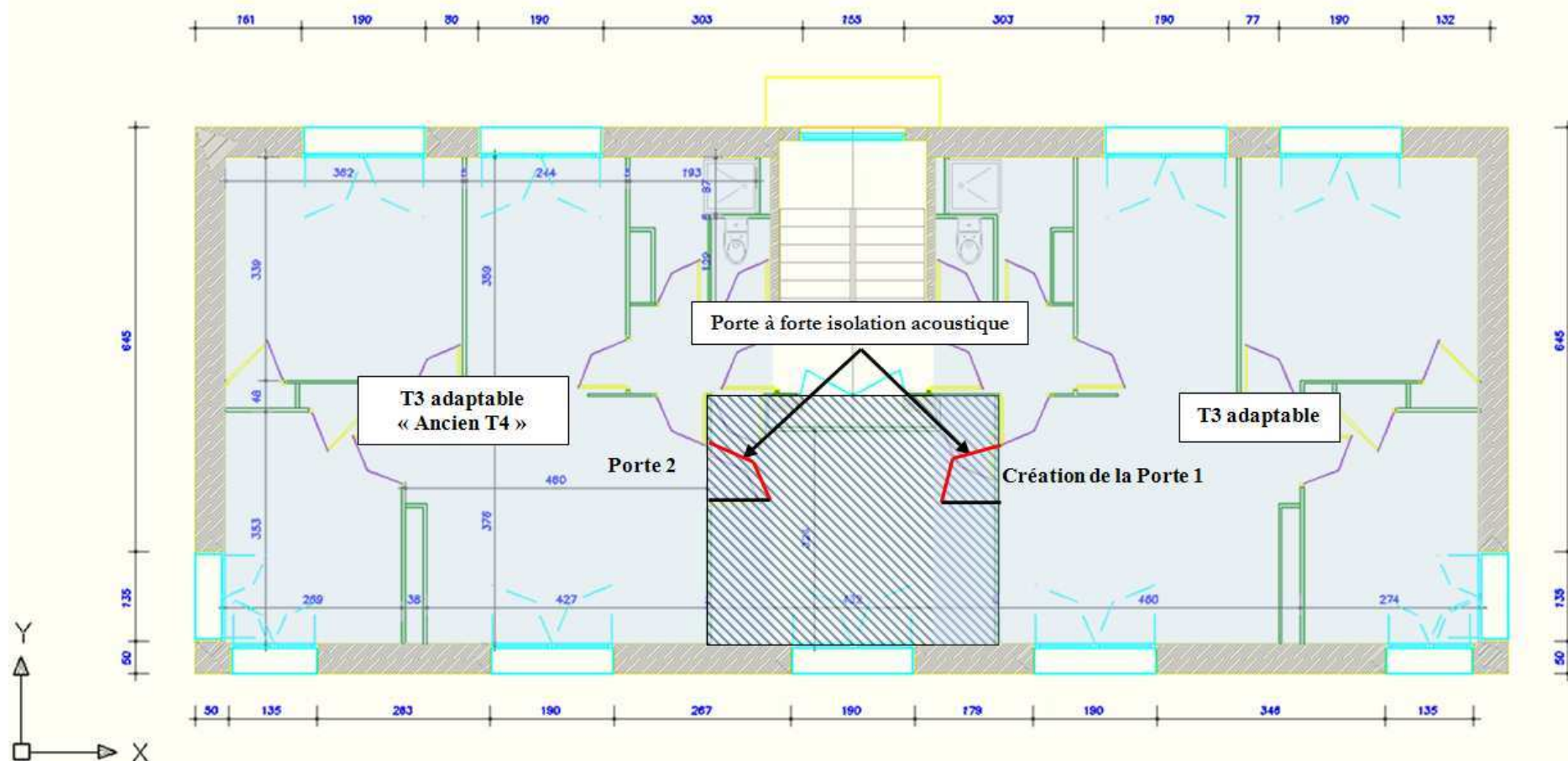
Annexe 18 : Modulation possible des logements du Meygal pour une re-densification de l'habitat



Adaptation des logements à la demande :

Certains logements situés dans la tour du « MEYGAL » présentent des caractéristiques permettant d'envisager un « réaménagement » de certaines surfaces. En effet, 4 logements par étage sont « jointifs » par une chambre nommée sur le plan ci-dessus « pièce modulaire ». Une possibilité d'adaptation de ces logements aux variations du taux d'occupation serait de permettre l'accès des T3 à cette pièce. Cette nouvelle pièce serait ouverte sur les deux logements par deux portes à isolation phonique renforcée et équipées de verrou. Les logements pourraient être loués selon différentes combinaisons à savoir pour les logements Nord : T3-T3, T4-T3 ou T3-T4 et pour les logements sud : T3-T4, T4-T4 ou T3-T5. La variation du nombre d'occupants dans les logements pourrait donc être compensée par le « retrait » ou le « rajout » d'une pièce. En cas d'utilisation des logements selon la combinaison T3-T3 pour les logements nord et T3-T4 pour les logements sud, la pièce modulaire pourrait être accessible par les occupants selon une modalité de location à la journée, au week-end ou à la semaine, permettant « d'absorber » les variations ponctuelles du nombre de personnes dans le logement (famille « éclatée », monoparentale ou accueil d'amis).

Annexe 19 : Modulation possible des logements des Echos pour une re-densification de l'habitat



Adaptation des logements à la demande :

L'ensemble des logements situés dans la « Cité de l'Echo » sont constitués actuellement à partir de l'étage R+1 d'un T3 et d'un T4. Ces deux logements sont « jointifs » par une chambre dont l'accès actuel dessert le T4. Une possibilité d'adaptation de ces logements aux variations du taux d'occupation est de permettre l'accès de l'actuel T3 à cette pièce. Cette nouvelle pièce nommée dans le plan « pièce modulaire » serait ouverte sur les deux logements par deux portes (porte 1 et porte 2) à isolation phonique renforcée et équipées de verrou. Les logements pourraient être loués selon différentes combinaisons à savoir : T3-T3, T4-T3 ou T3-T4. La variation du nombre d'occupants dans les logements pourrait donc être compensée par le « retrait » ou le « rajout » d'une pièce. En cas d'utilisation des logements selon la combinaison T3-T3, la pièce modulaire pourrait être accessible par les occupants selon une modalité de location à la journée, au week-end ou à la semaine, permettant « d'absorber » les variations ponctuelles du nombre de personne dans le logement (famille « éclatée », monoparentale ou accueil d'amis).

École Nationale Supérieure des Mines
de Saint-Étienne

NNT : 2012 EMSE 0649

Jonathan VILLOT

Buildings and Factor 4: from the emergence of an overall objective to its implementation at local level. Analysis of renovation issues for the social housing sector.

Speciality: Environmental Sciences and Engineering.

Keywords: Building, factor 4, energy efficiency, sufficiency, barriers, levers, professional actors, users, social housing.

Abstract:

Doubling Wealth - Halving Resource Use: from the original goals of efficiency production methods, the concept of "factor 4" has gradually changed in the early twenty-first century to focus on the division by 4 of greenhouse gas emissions. Today, Factor 4 depending on the scale refers to two different but interrelated concepts: climate factor 4 (national scale) and the energy factor 4 (at the micro-economic scale). Energy factor 4, transposition of climate issues (GHG) to the aspects of energy management has largely been developed in one sector of economy: the building sector. This sector, through its pool of savings has demonstrated widespread enthusiasm and has realized the implementation of regulations, labels and scenarios to guide and suggest directions towards the factor 4. Nevertheless, the practical implementation of theoretical objectives is hampered by the complexity of this sector. This complexity is due to the diversity of buildings, but also and above all, to the variety of actors who need to be mobilized. The aim of this research is to study the complex system represented by the construction industry and its actors, faced with the objective of factor 4. This thesis proposes to identify bottlenecks and success factors in operations and construction renovation as so ask the question: what are the barriers and levers encountered by actors trying to achieve the factor 4 in the building sector? To do this, we chose to study in detail the case of the Loire department and then consider whether lessons learned on this department could be applied to all France. Twenty interviews coupled with a questionnaire completed by over 200 professional actors in the building sector have been done. These qualitative and quantitative surveys have identified and classified 24 types of barriers relating to financial, technical, regulatory and behavioural issues as well as key levers that can help to overcome them. Through analysis of results, behavioural and financial issues appear to be paramount for the interviewed actors. Still, the variety of barriers and their interrelationship requires one conclusion: the current system, constrained by the objective of factor 4 requires not an adaptation or an evolution but a redesign of modes of thinking and acting. This redesign, advocating the concepts of sufficiency and efficiency needs to be ordered: the sufficiency of design is a preliminary step to energy efficiency, itself a precursor to the sufficiency of use. Action research conducted on three renovation projects in the territory of Saint-Etienne and combining more than one hundred interviews with tenants of social housing company confirms this arrangement. Inhabitants, as key actors of a project, stipulate that an increase in their comfort level combined to an improvement of housing performance, as a condition to their sufficiency. This sufficiency tested through thermal dynamic simulations (temperature, occupancy, closing the shutters) could allow a halving of building consumption.

École Nationale Supérieure des Mines
de Saint-Étienne

NNT : 2012 EMSE 0649

Jonathan VILLOT

Bâtiments et Facteur 4 : de l'émergence d'un objectif global à son application au niveau local. Analyse des problématiques de rénovation dans le secteur résidentiel à caractère social.

Spécialité : Sciences et génie de l'environnement

Mots clefs : Bâtiment, facteur 4, efficacité énergétique, sobriété, freins, leviers, acteurs professionnels, utilisateurs, logements sociaux.

Résumé :

Deux fois plus de bien-être en consommant deux fois moins de ressources : visant à l'origine des objectifs d'efficacité des modes de production, le concept de « facteur 4 » s'est peu à peu modifié au début du XXI^{ème} siècle pour se focaliser sur la division par 4 des émissions de gaz à effet de serre. De nos jours, le facteur 4 est un objectif fractal, faisant référence selon l'échelle étudiée à deux ensembles différents mais reliés : le facteur 4 climatique (à l'échelle nationale) et le facteur 4 énergétique (à l'échelle micro-économique). Le facteur 4 énergétique, transposition des questions climatiques (GES) aux aspects de maîtrise de l'énergie a largement été développé au sein d'un secteur économique : le bâtiment. Ce dernier, de par son gisement d'économies d'énergie, a fait l'objet d'un engouement important s'étant concrétisé par la mise en place de réglementations, labels et scénarios prospectifs dans le but d'orienter et de proposer des directions vers l'atteinte du facteur 4. Malgré tout, la transposition pratique d'objectifs théoriques se heurte à la complexité du système composant ce secteur. Cette complexité est due à la diversité du bâti mais aussi, et surtout, aux nombreux acteurs qu'il est nécessaire de mobiliser. L'enjeu de cette recherche est d'étudier le système complexe que représente le secteur du bâtiment et ses acteurs, face à l'atteinte du Facteur 4. Cette thèse propose notamment d'identifier les points de blocage, ainsi que les facteurs de succès lors d'opérations de rénovation et de construction ; objectif revenant à poser la question suivante : quels sont les freins et leviers d'action rencontrés par les acteurs pour l'atteinte du facteur 4 dans le bâtiment ? Pour ce faire, nous avons choisi d'étudier en détail le cas du département de la Loire et envisagé par la suite la transposition des enseignements tirés sur ce département à l'ensemble de la France. Une vingtaine d'entretiens couplés à un questionnaire semi-directif auprès de plus de 200 acteurs professionnels du bâtiment ont été réalisés. Ces enquêtes qualitatives et quantitatives ont permis d'identifier et classer 24 types de freins, relevant de problématiques financières, techniques, réglementaires et comportementales ainsi que les principaux leviers pouvant permettre de les contourner. Au travers des discours et résultats obtenus, les contraintes financières et comportementales apparaissent prépondérantes pour les acteurs interrogés. Malgré tout, l'enchevêtrement des freins et l'interrelation de ces derniers entre catégories imposent une conclusion : le système actuel, face aux contraintes du facteur 4, nécessite non pas une adaptation voire une évolution mais une refonte des modes de penser et de faire. Cette refonte, prônant les concepts de sobriété et d'efficacité, nécessite d'ordonner ces derniers : la sobriété de conception constitue alors une étape préalable à l'efficacité énergétique, elle-même précurseur de la sobriété d'utilisation. Une recherche-action menée sur 3 projets de rénovation sur le territoire de Saint-Etienne Métropole et couplant plus d'une centaine d'entretiens auprès de locataires de logement sociaux confirme cet agencement. Les utilisateurs, acteurs incontournables d'un projet, au travers d'une augmentation de leur niveau de confort conditionnent la sobriété à l'amélioration des niveaux de performances du logement. Cette sobriété, testée au travers de simulations thermiques dynamiques sur trois variables d'utilisation (température, taux d'occupation, fermeture des volets) pouvant permettre une division par deux des consommations du bâti.